

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**METODY STANOVENÍ AUTOKORELAČNÍ FUNKCE
HMOTNÉ NESTEJNOMĚRNOSTI PŘÍZE**

2004

LUCIE VYBÍRALOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Obor 3106T007

Textilní materiálové inženýrství

Katedra textilních struktur

**METODY STANOVENÍ AUTOKORELAČNÍ FUNKCE
HMOTNÉ NESTEJNOMĚRNOSTI PŘÍZE**

**Determination Methods of the
Yarn Mass Irregularity Correlogram**

Lucie Vybíralová

KAS - 071

Vedoucí práce: Prof. Ing. Bohuslav Neckář, DrSc.

Konzultant: Prof. Ing. Bohuslav Neckář, DrSc.

Počet stran: 59

Počet obrázků: 12

Počet tabulek: 11

Počet grafů: 9

Počet příloh: 6

Anotace

Tato práce se zabývá charakteristikou hmotné nestejnoměrnosti příze. Pro posouzení míry závislosti hmotné nestejnoměrnosti podél délky příze používáme autokorelační funkci.

Hmotná nestejnoměrnost příze byla měřena na přístroji Uster Tester 4, který mimo jiné poskytuje výsledky formou spektrogramu. Na základě experimentálně zjištěných výšek sloupců spektrogramu byla autokorelační funkce určena dvěma výpočetními algoritmy. Kromě spektrogramu je možné počítat autokorelační funkci běžnými statistickými metodami z hodnot kolísání hmotnosti po délce příze, které přístroj poskytuje formou datového souboru.

Možnosti výpočtu autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti byly ověřovány na souboru šesti bavlněných prstencových přízí o různých jemnostech.

Výpočetní algoritmy byly zpracovány v softwaru Matlab firmy The MathWorks, Inc.

Annotation

This thesis elaborates on yarn mass irregularity characteristics. The mass irregularity over yarn length dependency extent is evaluated using its autocorrelation function. The measurement of the yarn mass irregularity was done using the Uster Tester 4 machine which normally provides spectrogram output. Based on the spectrogram column height values the autocorrelation function is computed using two different algorithms. The third used way to express the autocorrelation function is using common statistics methods from over the yarn length mass variation values which are available in a form of a text file output.

The autocorrelation function computation possibilities are investigated on a set of 6 ring-spun cotton yarn samples of different yarn count.

Computation algorithms were written in Matlab from The MathWorks, Inc.

Místopřísežné prohlášení:

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.“

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 17.5.2004

Lucie Vybíralová

Poděkování:

Děkuji především vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Bohuslavu Neckáři, DrSc. za ochotu, podnětné rady a za zodpovědné vedení při tvorbě diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům Katedry textilních struktur za pomoc při realizaci experimentální části mé diplomové práce.

Děkuji také Prof. Ing. Petru Ursínymu, DrSc. za odborné konzultace v oblasti hmotné nestejnoměrnosti a Ing. Ludmile Koukolíkové z VÚTS Liberec, a. s., za zapůjčení studijních materiálů.

Obsah

1. Úvod	10
2. Hmotná nestejnoměrnost.....	11
2.1. Střední lineární nestejnoměrnost	11
2.2. Střední kvadratická nestejnoměrnost	12
2.3. Limitní nestejnoměrnost	12
2.4. Index nestejnoměrnosti	13
2.5. Vnitřní a vnější nestejnoměrnost	14
3. Způsoby zjišťování nestejnoměrnosti	15
3.1. Mechanické metody	15
3.2. Kapacitní metody	15
3.3. Optické metody	16
3.4. Pneumatické metody	17
3.5. Akustické metody	17
3.6. Konduktometrické metody	17
4. Uster Tester 4	18
4.1. Princip měření nestejnoměrnosti	19
4.2. Numerické výsledky	19
4.3. Vybrané grafické výstupy nestejnoměrnosti	20
4.3.1. Diagram hmoty	20
4.3.2. Spektrogram hmoty	21
4.3.3. Histogram	23
4.3.4. Délková variační křivka	23
4.4. Parametry měření.....	23
4.4.1. Rychlost a doba trvání zkoušky.....	23
4.4.2. Klimatické podmínky	24
5. Autokorelační funkce	25
5.1. Výchozí vztahy	25
5.1.1. Kovariance	25
5.1.2. Korelační koeficient.....	26
5.2. Výpočet autokorelační funkce z primárních dat UT4.....	26

5.3.	Výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu UT4	28
5.3.1.	SPG jako amplitudy harmonických funkcí	29
5.3.2.	SPG jako odmocnina dílčích integrálů spojitě spektrální funkce ..	31
6.	Praktický výpočet autokorelační funkce	35
6.1.	Praktický výpočet autokorelační funkce z primárních dat UT4	35
6.2.	Praktický výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu přístroje Uster Tester.....	39
6.2.1.	Výpočet vlnových délek.....	40
6.2.2.	Měření výšek sloupců pomocí obrazové analýzy	41
7.	Experimentální část	42
7.1.	Použitý materiál	42
7.2.	Popis měření.....	42
7.3.	Zpracování experimentálních dat.....	45
7.4.	Diskuse výsledků.....	51
8.	Shrnutí a závěr.....	54
	Literatura	55
	Přehled použitých symbolů a zkratek.....	57
	Seznam příloh	61

1. Úvod

Hmotná nestejnoměrnost je jednou ze základních charakteristik příze. Jako taková je vnímána spíše jako vlastnost negativní, která ovlivňuje řadu dalších vlastností (např. nestejnoměrnost pevnosti). Hmotná nestejnoměrnost příze se projeví i na vzhledu konečného textilního výrobku. Je proto důležité ji sledovat v celém procesu výroby příze i u jednotlivých meziproduktů.

Pro sledování míry závislosti hmotné nestejnoměrnosti po délce příze vyjadřujeme tzv. autokorelační funkci. Podle jejího průběhu můžeme usuzovat, do jaké vzdálenosti na přízi spolu hodnoty hmotné nestejnoměrnosti souvisejí. I krátké silnější místo pramene nebo přástu se projeví zesílením na několikanásobné délce příze.

Jedním z nejrozšířenějších měřících zařízení na zjišťování hmotné nestejnoměrnosti je přístroj Uster Tester. Přístroj běžně vyhodnocuje hmotnou nestejnoměrnost pomocí variačního koeficientu lineární hmotnosti. Grafické výsledky zaznamenává mimo jiné formou spektrogramu. Nadstandardní výbavou přístroje typu Uster Tester 4 je získávání primárních dat hmotné nestejnoměrnosti.

Autokorelační funkci hmotné nestejnoměrnosti příze můžeme vyjadřovat na základě dostupných dat. Pokud jsou k dispozici primární data, lze autokorelační funkci počítat běžnými statistickými metodami. Ve většině případů je však možné vycházet pouze ze spektrogramu v tištěné podobě. Autokorelační funkci pak vyjádříme na základě hodnot experimentálně odečtených ze spektrogramu.

Při výpočetním zpracování autokorelační funkce lze s výhodou využít dostupného softwarového vybavení.

2. Hmotná nestejnoměrnost

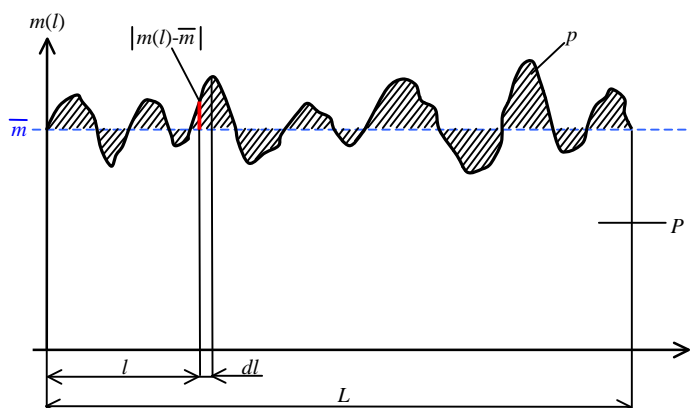
Hmotnou nestejnoměrností lineárního vlákného útvaru rozumíme kolísání hmotnosti po jeho délce, resp. kolísání jemnosti (lineární hmotnosti).

Každý vláknový útvar vykazuje jistou nestejnoměrnost, která souvisí s náhodným rozdělením vláken v útvaru. Její hodnotu považujeme za nejmenší možnou a označujeme ji jako limitní nestejnoměrnost.

Hmotná nestejnoměrnost je nejčastěji popisována střední lineární a střední kvadratickou nestejnoměrností.

2.1. Střední lineární nestejnoměrnost

Je definována jako střední absolutní odchylka vztažená na střední hodnotu hmotnosti. Podle obr. 1 můžeme střední lineární nestejnoměrnost vyjádřit také jako poměr vyšrafované plochy p , která představuje odchylku od střední hodnoty hmotnosti, ku celkové ploše $P = \overline{m}L$.



Obr. 1: Odvození střední lineární nestejnoměrnosti U .

Střední lineární nestejnoměrnost U v [%] pak můžeme vyjádřit jako:

$$U = \frac{p}{P} \cdot 100 = \frac{\int_0^L |m(l) - \overline{m}| dl}{\overline{m}L} \cdot 100 = \frac{100}{\overline{m}} \cdot \frac{1}{L} \cdot \int_0^L |m(l) - \overline{m}| dl, \quad (1)$$

kde:

$m(l)$ okamžitá hodnota hmoty délkového úseku příze,

\overline{m} střední hodnota hmoty délkového úseku příze,

L délka integrovaného úseku.

2.2. Střední kvadratická nestejnoměrnost

Je definována jako odmocnina střední kvadratické odchylky vztažená na střední hodnotu hmoty, tj. variační koeficient lineární hmotnosti. Střední kvadratická nestejnoměrnost CV [%] je definována vztahem:

$$CV = \frac{100}{\bar{m}} \cdot \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L (m(l) - \bar{m})^2 dl}, \quad (2)$$

kde:

$m(l)$ okamžitá hodnota hmoty délkového úseku příze,

\bar{m} střední hodnota hmoty délkového úseku příze,

L délka integrovaného úseku.

Mezi lineární a kvadratickou nestejnoměrností platí přibližné převodní vztahy:

$$\begin{aligned} CV &= 1,25 U, \\ U &= 0,8 CV. \end{aligned} \quad (3)$$

2.3. Limitní nestejnoměrnost

Nestejnoměrnost, která vychází z náhodného uspořádání vláken v pramenu, přástu nebo přízi, označujeme jako limitní. Je to minimální hodnota nestejnoměrnosti, které může přádelnický produkt dosáhnout.

Počet vláken v příčném řezu přádelnického produktu se řídí Poissonovým rozdělením.

Pro střední hodnotu $\bar{x}(n)$ a rozptyl $\sigma^2(n)$ počtu vláken pak platí:

$$\bar{x}(n) = \sigma^2(n) = n, \quad (4)$$

kde:

n střední počet vláken v průřezu přádelnického produktu.

Za tohoto předpokladu můžeme limitní kvadratickou nestejnoměrnost CV_{lim} [%] vyjádřit jako variační koeficient počtu vláken v příčném průřezu vlákenného útvaru:

$$CV_{lim} = \frac{\sqrt{\sigma^2(n)}}{\bar{x}(n)} = \frac{\sqrt{n}}{n} \cdot 100 = \frac{100}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

Obdobně můžeme určit limitní lineární nestejnoměrnost U_{lim} [%] za užití vztahu (3):

$$U_{lim} = \frac{80}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

Vztahy (5) a (6) platí pro útvary, ve kterých mají všechna vlákna stejný tvar a velikost. Pro reálné vláknenné útvary, kde vlákna (zejména přírodní) vykazují variabilitu jak v geometrickém tvaru, tak ve svých rozměrech, vztahy přejdou na:

$$CV_{lim} = \frac{100 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{v_p}{100}\right)^2}}{\sqrt{n}} = \frac{100 \cdot \sqrt{1 + 0,0004v_d^2}}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

$$U_{lim} = \frac{80 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{v_p}{100}\right)^2}}{\sqrt{n}} = \frac{80 \cdot \sqrt{1 + 0,0004v_d^2}}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

kde:

v_p variační koeficient průřezu vlákna,

v_d variační koeficient průměru vlákna.

Vztah (7) je označován jako tzv. Martindaleův vzorec. J. G. Martindale vycházel při popisu hmotné nestejnoměrnosti pramene z binomického rozdělení počtu vláken, které přejde v Poissonovo rozdělení jen za určitých předpokladů. Podrobné odvození čtenář nalezne např. v [2].

2.4. Index nestejnoměrnosti

Index nestejnoměrnosti I vyjadřuje míru nestejnoměrnosti přádelnického produktu. Je definován jako:

$$I = \frac{U_{ef}}{U_{lim}} = \frac{CV_{ef}}{CV_{lim}}, \quad (9)$$

kde:

U_{ef} efektivní lineární nestejnoměrnost (skutečná naměřená hodnota),

CV_{ef} efektivní kvadratická nestejnoměrnost (skutečná naměřená hodnota),

U_{lim} limitní lineární nestejnoměrnost,

CV_{lim} limitní kvadratická nestejnoměrnost.

V ideálním případě pro $U_{ef} = U_{lim}$ (resp. $CV_{ef} = CV_{lim}$) je index nestejnoměrnosti roven 1. V přádelnickém produktu by se pak projevila pouze nestejnoměrnost daná náhodným rozložením vláken. U reálného přádelnického produktu toho prakticky nelze

dosáhnout, $I > 1$. Index nestejnoměrnosti tedy slouží k vyjádření míry přiblížení nestejnoměrnosti reálného přádelnického produktu k ideální hodnotě.

2.5. Vnitřní a vnější nestejnoměrnost

Střední kvadratickou nestejnoměrnost, definovanou v kap. 2.2, můžeme chápat také jako hmotnou nestejnoměrnost uvnitř úseků o délce L . Pak mluvíme o tzv. vnitřní kvadratické nestejnoměrnosti a značíme ji $CV(L)$. Vedle ní definujeme vnější kvadratickou nestejnoměrnost $CB(L)$ jako hmotnou nestejnoměrnost mezi úseky o délce L .

Druhou mocninu kvadratické nestejnoměrnosti označujeme jako gradient nestejnoměrnosti. Pro gradient vnitřní nestejnoměrnosti $V(L)$ a gradient vnější nestejnoměrnosti $B(L)$ můžeme psát:

$$CV^2(L) = V(L), \quad CB^2(L) = B(L). \quad (10)$$

Pro vnitřní a vnější nestejnoměrnost pak platí:

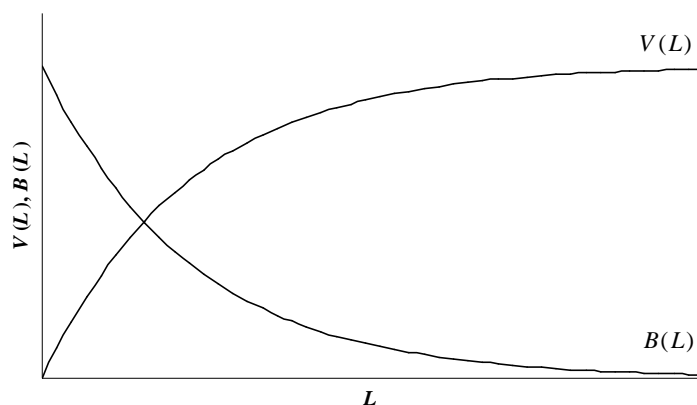
$$CV^2(L) + CB^2(L) = V(L) + B(L) = V(\infty), \quad (11)$$

kde:

$V(\infty)$ hodnota gradientu vnitřní nestejnoměrnosti pro $L \rightarrow \infty$.

Závislost gradientu vnitřní a vnější nestejnoměrnosti na délce L je znázorněna na obr. 2.

Obdobně lze vyjádřit i vnitřní a vnější lineární nestejnoměrnost.



Obr. 2: Gradient vnitřní a vnější nestejnoměrnosti.

3. Způsoby zjišťování nestejnoměrnosti

Podle způsobu měření můžeme postupy hodnocení nestejnoměrnosti rozčlenit do těchto skupin: [5]

1. Mechanické metody
2. Kapacitní metody
3. Optické metody
4. Pneumatické metody
5. Akustické metody
6. Konduktometrické metody

V současné době se k měření nestejnoměrnosti používají převážně kapacitní a optické metody. Kapacitní metody zjišťují hmotnou nestejnoměrnost příze, přástů a pramenů. Jejich nevýhodou je vysoká citlivost na změnu obsahu vlhkosti ve zkoušeném materiálu. Optické metody měří kolísání optického průměru příze. Oproti kapacitním metodám zachycují i vzhledové vady bez změny hmotnosti a nejsou citlivé na změnu vlhkosti. Akustické a konduktometrické metody jsou méně významné, vedle ostatních se v praxi neprosadily.

V následujících podkapitolách je stručně popsán princip jednotlivých metod. U kapacitních a optických metod jsou uvedeni vybraní výrobci přístrojů pro měření nestejnoměrnosti se stručnou charakteristikou produktů.

3.1. Mechanické metody

Nejjednodušší metodou je technika řezání a vážení. Je poměrně jednoduchá, ale časově náročná. Dnes se využívá pro kontrolu výsledků získaných jinými metodami. Další možností je měření změn průměru příze pomocí mechanického detektoru [5].

3.2. Kapacitní metody

Materiál je veden mezi dvěma elektrodami kondenzátoru. Změna kapacity vlivem průchodu materiálu se převádí na elektrické napětí. Kolísání napětí pak odpovídá variaci hmoty zkoušeného materiálu.

Zellweger Uster

Jedna z nejznámějších firem u nás zabývajících se hmotnou nestejnomyšností, se sídlem ve Švýcarsku. V současné době je na trhu přístroj Uster Tester 4. Mezi jeho standardní vybavení patří měření hmotné nestejnomyšnosti, registrace imperfekcí (silných a slabých míst), zjišťování chlupatosti a jemnosti u přízí, přástů a pramenů.

Premier

Indická firma, pro testování nestejnomyšnosti vyvinula systém iQ-QualiCenter. Vedle hmotné nestejnomyšnosti zjišťuje imperfekce, chlupatost a jemnost u přízí, přástů a pramenů.

3.3. Optické metody

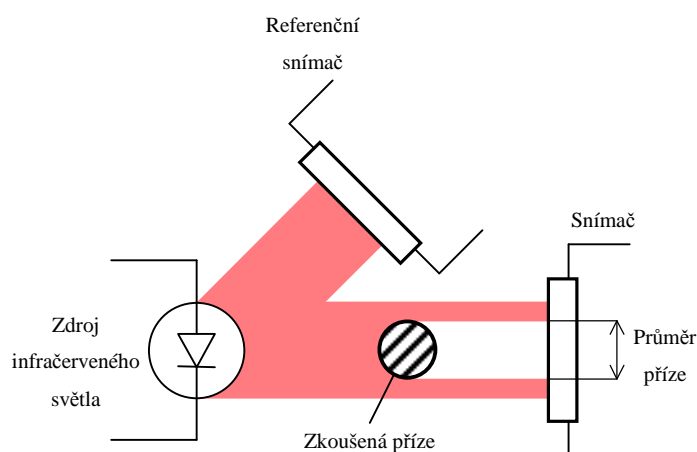
Většina optických metod pracuje na principu měření intenzity odraženého nebo prošlého světla.

Loepfe

Švýcarská firma, která se zabývá kontrolou kvality v textilním průmyslu. K měření nestejnomyšnosti pomocí opto-elektronického senzoru slouží přístroj YarnMaster ZENIT. Kromě nestejnomyšnosti je určen pro zjišťování imperfekcí, chlupatosti a predikci jemnosti u staplových přízí v širokém rozsahu jemností.

Zweigle

Pro optické snímání nestejnomyšnosti příze tato německá firma navrhla měřicí systém OASYS. Princip měření je znázorněn na obr. 3.



Obr. 3: Princip měření nestejnomyšnosti systémem OASYS. [8]

Příze je osvětlována infračerveným světlem. Měřicí senzor zjišťuje intenzitu světla, které na něj dopadne, a srovnává ji s referenční hodnotou. Zjištěné odchylky průměru příze zaznamenává a následně vyhodnocuje. Kromě variace průměru příze zachycuje také imperfekce.

3.4. Pneumatické metody

U těchto technik se provádí měření změny rychlosti vzduchu, který proudí kolem materiálu v úzké trubici. Ze znalosti rychlosti proudění vzduchu v prázdné trubici a trubici, ve které je zkoušený materiál, se pak určuje hmotnost. [5]

V současné době se pneumatické metody používají převážně k zjišťování hmotné nestejnoměrnosti přádelnických polotovarů, jako jsou prameny a přásty.

3.5. Akustické metody

Příze prochází přes zvukové pole mezi generátorem a přijímačem. Měří se doba potřebná k průchodu zvukových vln. Základní výhodou této metody je nezávislost na vlhkosti materiálu. [5]

3.6. Konduktometrické metody

Příze je nejdříve smáčena v elektricky vodivé kapalině. Následně je vedena na válec, kde se provádí měření elektrické vodivosti. Problémem je to, že musí být použit materiál schopný stejnoměrné absorpce. [5]

4. Uster Tester 4

Uster Tester je jedním z nejrozšířenějších off-line zařízení na vyhodnocování nestejnoměrnosti příze, přástů a pramenů, které pracuje na kapacitním principu. V praxi se nejčastěji využívá k identifikaci periodických vad, kdy napomáhá odhalit jejich povahu a příčinu. Do standardního vybavení také patří registrace imperfekcí, tj. silných, slabých míst a nopků.

Novější typy, Uster Tester 3 a 4, navíc umožňují měřit chlupatost příze, příp. sledovat její variabilitu.

Uster Tester 4 poskytuje grafické výsledky nestejnoměrnosti a chlupatosti formou:

- spektrogramu
- diagramu
- histogramu
- délkové variační křivky (LVC)
- QualiProfile (koláčový graf)
- simulace přízových destiček a tkanin

Uster Tester 4 (UT4) existuje ve dvou základních provedeních: [9]

1. Typ S je určen pro testování staplových materiálů.

UT4-SX je automatický model, který může pracovat se všemi existujícími typy volitelných senzorů a softwaru (obr. 4).

UT4-SE je ekonomická manuální verze s omezenými funkcemi.

2. Typ C je speciálně navržen k testování materiálů z nekonečných vláken.

UT4-CX je automatický model s rozšířenou funkcí.

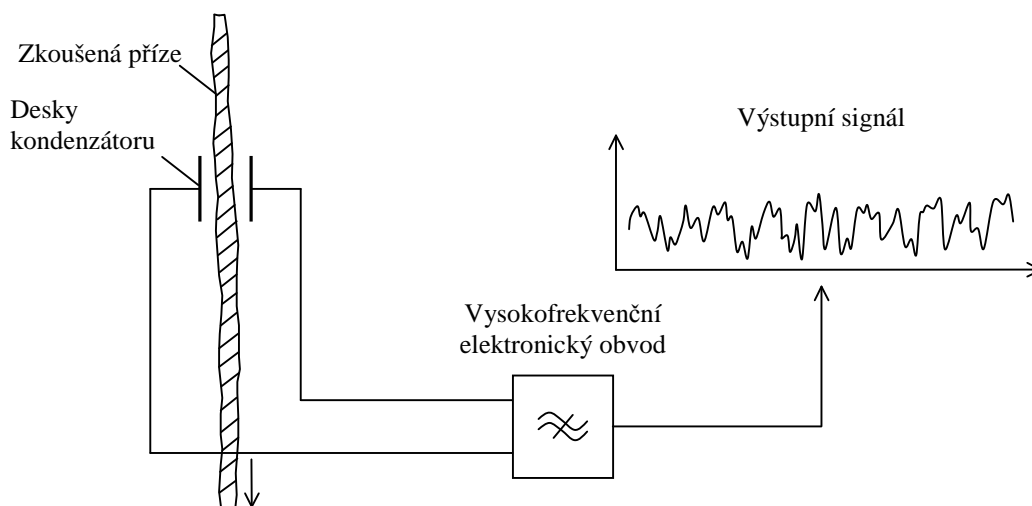
UT4-CE je ekonomická manuální verze.



Obr. 4: Přístroj UT4-SX na Katedře textilních struktur.

4.1. Princip měření nestejnoměrnosti

Příze je vedena mezi deskami kondenzátoru (obr. 5). Vlivem kolísání hmotnosti zkoušené příze dochází ke změně jeho kapacity, která se projeví změnou výstupního elektrického signálu. Tento analogový signál je převeden na digitální. Kaskádou filtrů, které propouštějí vždy určitý rozsah frekvencí, je záznam převáděn na frekvenční. Získaná data jsou následně zpracována a vyhodnocena počítačem UT4.



Obr. 5: Princip měření hmotné nestejnoměrnosti na přístroji Uster Tester 4.

4.2. Numerické výsledky

Přístroj UT4 poskytuje celou řadu výsledků hmotné nestejnoměrnosti a chlupatosti v grafické i numerické podobě. Výsledky uvádí formou tzv. reportu, což je zpráva o měření obsahující výsledky zvolených měřených veličin.

Nejčastěji se hmotná nestejnoměrnost posuzuje podle hodnoty střední kvadratické nestejnoměrnosti, kterou přístroj měří s užitím různých střížných délek (tento pojem bude vysvětlen v kap. 4.3.1). Kromě střední kvadratické nestejnoměrnosti dále určuje lineární nestejnoměrnost, počet silných, slabých míst a nopků, chlupatost a odhaduje jemnost testovaného materiálu.

Při měření více vzorků přístroj umožňuje jejich souhrnné vyhodnocení pomocí standardních statistických nástrojů, jako je střední hodnota, variační koeficient nebo interval spolehlivosti střední hodnoty. Kromě toho používá několik doplňkových údajů.

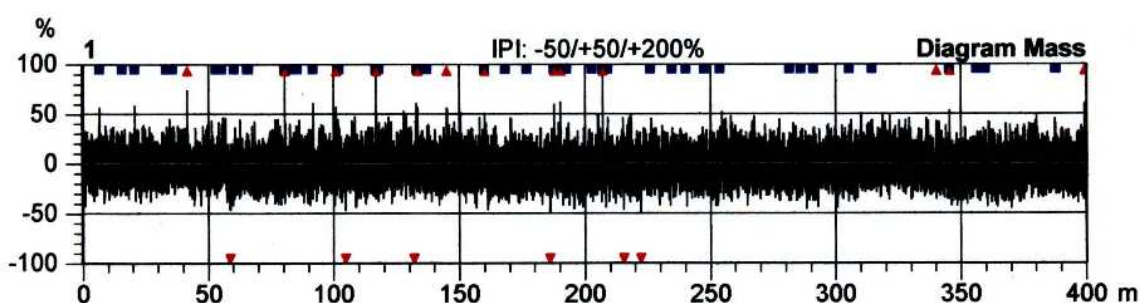
Přehled všech měřených veličin a veličin používaných k souhrnnému statistickému vyhodnocení výsledků více měření je uveden v příloze 1.

4.3. Vybrané grafické výstupy nestejnoměrnosti

4.3.1. Diagram hmoty

Diagram hmoty zachycuje kolísání hmotnosti zkoušeného materiálu v čase, resp. po jeho délce. Na svislé ose jsou vyneseny kladné a záporné odchylky od průměrné hodnoty hmotnosti, která je určována během prvních 15 sekund měření. Na vodorovné ose je vynesena testovaná délka (obr. 6).

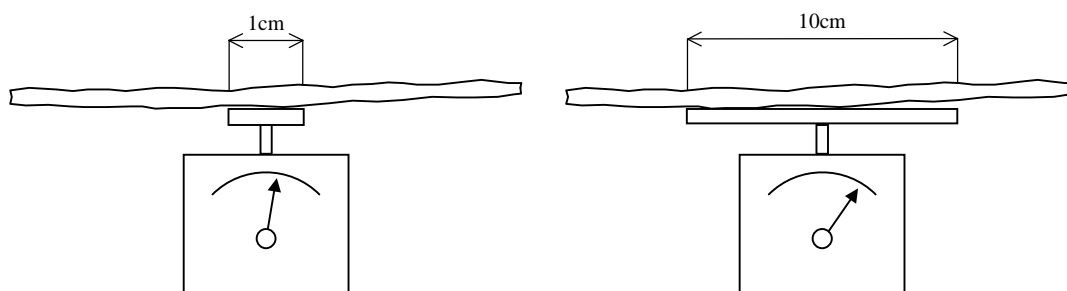
Diagram hmoty se využívá k určení, zda se v testovaném materiálu vyskytují velké náhodné odchylky hmoty nebo zvýšená variace [9]. Obsahuje kompletní informaci o zkoušeném materiálu, všechny ostatní hodnoty (CV, spektrogram, ...) jsou odvozovány od něj. Pro data z diagramu hmoty budeme proto dále používat označení primární data.



Obr. 6: Diagram hmoty.

Diagram hmoty je možné vyhodnocovat s různou tzv. střížní délkou. Za normální je považována délka 1cm. Princip použití různých střížních délek je možné vysvětlit na modelu imaginárních vah s rozdílnými velikostmi misek (např. 1cm a 10cm), na nichž měříme různě dlouhé úseky materiálu (obr. 7). Materiál na misce o délce 1cm bude vykazovat větší variaci hmotnosti než materiál na misce o délce 10cm.

Použití různých střížních délek slouží k indikaci změn hmotnosti středních a dlouhých úseků testovaného materiálu.



Obr. 7: Princip měření hmotné nestejnoměrnosti s použitím různé střížní délky.

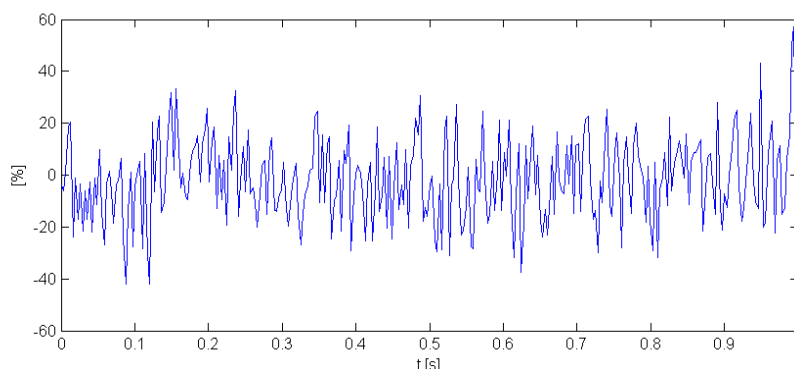
4.3.2. Spektrogram hmoty

Spektrogram (SPG) zobrazuje kolísání hmoty v závislosti na vlnové délce variace. Umožňuje rychlou vizuální identifikaci zejména periodických vad, které jsou v diagramu nevýrazné. Podle vlnové délky vady lze analyzovat její příčinu.

Ve spektrogramu se může vyskytovat několik typů vad. Jednou z nich je výrazně vyšší sloupec (tzv. komín) na určité vlnové délce, který je způsoben periodickou vadou. Ta může mít původ např. v opotřebením některé rotační součásti dopravního stroje. Tento typ závady je označován jako charakteristické spektrum. V SPG je příslušný sloupec, jehož hodnotu nestejnoměrnosti přístroj identifikuje jako extrémní výchylku, barevně vyznačen. Jinou chybou je vyvýšení přes určitou oblast vlnových délek (tzv. kupovité spektrum), které je způsobeno chybou průtahu.

Princip konstrukce SPG:

Výstupní elektrický signál měřícího obvodu přístroje UT4, který je úměrný kolísání hmoty v čase (obr. 8), je pomocí Fourierovy transformace rozložen na M harmonických funkcí o různých frekvencích. Tento postup se realizuje kaskádou filtrů. Každý filtr propouští určité pásmo frekvencí. Šířka frekvenčního pásma je úměrná šířce sloupce SPG.



Obr. 8: Časový záznam kolísání hmoty.

Frekvence harmonických funkcí Fourierovy řady jsou přepočteny na vlnové délky podle vztahu:

$$f = \frac{v}{\lambda}, \quad (12)$$

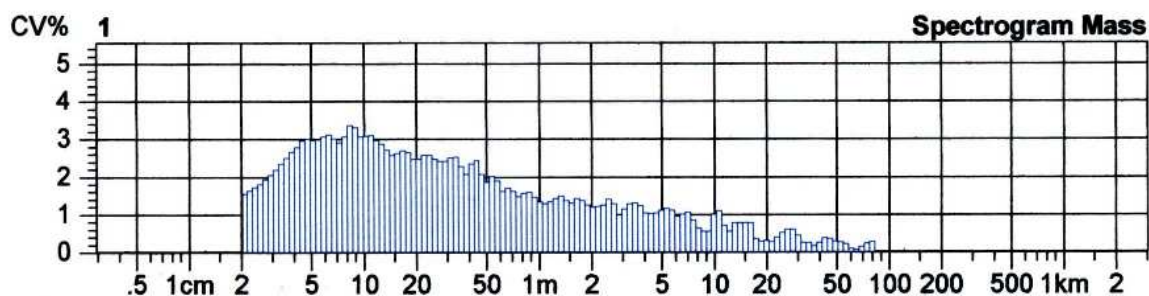
kde:

f frekvence harmonické funkce,

v rychlost průchodu materiálu mezi deskami kondenzátoru,

λ vlnová délka harmonické funkce.

Amplitudy harmonických složek jsou úměrné výškám sloupců SPG. Ukázka SPG z UT4 je na obr. 9.



Obr. 9: Spektrogram hmoty.

Pro určení rozsahu vlnových délek se vychází z konstantního poměru mezi dvěma sousedními vlnovými délkami spektrogramu:

$$\frac{\lambda_j}{\lambda_{j-1}} = K; \quad j = 1, K, M, \quad (13)$$

kde:

λ_j j -tá vlnová délka spektrogramu,

λ_{j-1} $(j - 1)$ vlnová délka spektrogramu,

M počet sloupců ve spektrogramu.

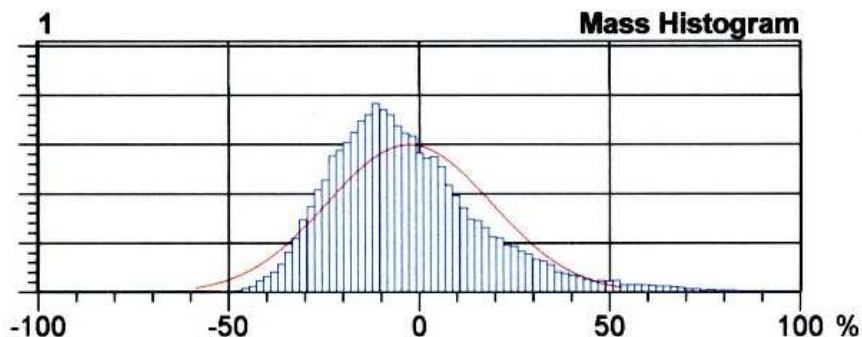
Hodnoty konstanty K jsou pro jednotlivé typy přístroje Uster Tester uvedeny v tab. 1. Firma Zellweger Uster uvádí šířku pásma v procentech, tzn. o kolik procent je následující vlnová délka větší než předcházející. Z toho je zřejmé, že vlnové délky rostou geometrickou řadou. SPG proto na vodorovné ose používá logaritmické měřítko. V tab. 1 jsou také uvedeny maximální počty sloupců SPG M , kterých je možné v závislosti na použitých parametrech měření dosáhnout u jednotlivých typů přístroje.

Typ přístroje	M []	K []	Šířka pásma [%]
Uster GGP	35	$\sqrt[5]{2} = 1,15$	15
Uster Tester 1	54		
Uster Tester 2	55		
Uster Tester 3	80		
Uster Tester 4	160	$\sqrt[10]{2} = 1,07$	7

Tab. 1: Přehled typů a parametrů přístroje Uster Tester.

4.3.3. Histogram

Histogram zachycuje poměrné zastoupení všech měřených odchylek hmoty. Vedle empirického histogramu je naznačen i ideální průběh frekvenční funkce (obr. 10).



Obr. 10: Histogram nestejnoměrnosti.

4.3.4. Délková variační křivka

Délková variační křivka znázorňuje závislost střední kvadratické nestejnoměrnosti CV na střižní délce (obr. 11).



Obr. 11: Délková variační křivka nestejnoměrnosti.

4.4. Parametry měření

4.4.1. Rychlost a doba trvání zkoušky

Rychlost a doba trvání zkoušky jsou důležitými parametry, které mají vliv na výsledky měření. Rychlost průchodu materiálu mezi senzory ovlivňuje krok (vzdálenost) mezi sousedními měřenými body na přízi. Ve SPG se rychlost a čas zkoušky projeví v rozsahu vlnových délek. Největší vlnová délka odpovídá přibližně 1/5 celkové naměřené délky, maximálně však může dosáhnout hodnoty 1100m (pro UT 4-SX).

Podobně i počet sloupců ve SPG závisí na době zkoušky, SPG může mít až 160 sloupců.

Volba parametrů:

Rychlost průchodu materiálu: $10 - 400 \text{ m.min}^{-1}$

Doba trvání zkoušky: $6 \text{ s} - 20 \text{ min}$

4.4.2. Klimatické podmínky

U kapacitního měření hmotné nestejnoměrnosti je důležité dodržení předepsaných klimatických podmínek, neboť i malá změna vlhkosti zkoušeného materiálu se projeví změnou vlastností kapacitního pole v průběhu měření.

Standardní klimatické podmínky:

Teplota vzduchu: $20 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Relativní vlhkost vzduchu: $65 \pm 2 \text{ } \%$

5. Autokorelační funkce

Autokorelační funkce se využívá k vyjádření míry závislosti hmotné nestejnoměrnosti po délce příze. Označíme-li $\rho(l)$ korelační koeficient délkové hmotnosti příze mezi body vzdálenými o l , potom závislost korelačního koeficientu $\rho(l)$ na délce l nazýváme autokorelační funkcí hmotné nestejnoměrnosti příze.

Na nestejnoměrnost příze má výrazný vliv nestejnoměrnost přádelnických polotovarů. Zesílené místo pramene se projeví na mnohonásobně větší délce příze. Podle autokorelační funkce pak můžeme posoudit, do jakých délek se na přízi tato vada projeví.

Hmotná nestejnoměrnost ovlivňuje řadu dalších vlastností, např. variabilitu pevnosti. Jak uvádějí ve svých pracích Zelinková [12] a Lizák [13], autokorelační funkci pevnosti příze lze vyjádřit součtem dvou exponenciálních funkcí. Autoři vycházejí z předpokladu, že rychle klesající exponenciála je ovlivněna strukturní nestejnoměrností, která se projeví na krátkých úsecích příze. Naproti tomu pomalu klesající exponenciála poukazuje na vliv, který je vázán na delší úseky příze. Tím by měla být hmotná nestejnoměrnost. Experimentální výsledky obou autorů však tento předpoklad nepotvrdily, spíše se zdá, že autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti již na krátkých úsecích příze rychle klesá k nule.

Výpočet autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze je možné provádět na základě měření hmotné nestejnoměrnosti na přístroji UT4. Budou popsány celkem tři algoritmy výpočtu, dva za použití experimentálně zjištěných výšek sloupců SPG a jeden vycházející přímo z primárních dat kolísání hmotnosti.

5.1. Výchozí vztahy

5.1.1. Kovariance

Kovariance $\text{cov}(X, Y)$ dvou náhodných veličin X a Y je definována výrazem:

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})], \quad (14)$$

kde:

X_i, Y_i i -té hodnoty náhodných veličin X a Y ,

\bar{X}, \bar{Y} střední hodnoty náhodných veličin X a Y ,

N celkový počet měření.

5.1.2. Korelační koeficient

Korelační koeficient $\rho(X, Y)$ dvou náhodných veličin X a Y byl zaveden jako normovaná kovariance, tj. kovariance vztažená na odmocninu ze součinu rozptylů náhodných veličin X a Y :

$$\begin{aligned}\rho(X, Y) &= \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\sigma_X^2 \sigma_Y^2}} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})]}{\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^N [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}},\end{aligned}\tag{15}$$

kde:

σ_X^2, σ_Y^2 rozptyly náhodných veličin X a Y .

Vlastnosti korelačního koeficientu:

- a) $\rho(X, Y) \in \langle -1; 1 \rangle$
- b) $\rho = 0$, když jsou veličiny X a Y nezávislé
- c) $\rho = \pm 1$, když jsou veličiny X a Y lineárně závislé

5.2. Výpočet autokorelační funkce z primárních dat UT4

Výpočet autokorelační funkce z primárních dat kolísání hmotnosti po délce přize vychází ze vztahu (15). Náhodné veličiny X a Y představují hodnoty nestejnoměrnosti měřené přize. Hodnoty Y jsou ze stejného souboru dat jako X , ale vůči X jsou o konstantu (krok) d posunuté, tzn. první hodnota Y je stejná jako druhá hodnota X , druhá hodnota Y je stejná jako třetí hodnota X , atd. (viz tab. 2 – veličina V značí měřenou vlastnost, v našem případě se jedná o hmotnou nestejnoměrnost). Z těchto hodnot získáme podle vztahu (15) korelační koeficient na délce $l = d$. Obdobně vypočítáme korelační koeficienty na všech ostatních délkách ($l = 2d, l = 3d, \dots$). Krok d je vzdálenost dvou sousedních míst na přizi, ve kterých byla měřena hmotná nestejnoměrnost. Vynesením hodnot korelačních koeficientů v závislosti na délce l do

grafu získáme autokorelační funkci hmotné nestejnoměrnosti příze. Pro $l = 0$ vyjde korelační koeficient vždy roven 1.

$l = d$		$l = 2d$	
X	Y	X	Y
V_1	V_2	V_1	V_3
V_2	V_3	V_2	V_4
...
V_i	V_{i+1}	V_i	V_{i+2}
...
V_{N-2}	V_{N-1}	V_{N-2}	V_N
V_{N-1}	V_N		

Tab. 2: Princip výpočtu autokorelační funkce z primárních dat.

Vztah mezi veličinami X a Y můžeme zapsat:

$$Y_i = X_{i+j}; \quad i = 1, K, N - j; \quad j = 1, K, N - i, \quad (16)$$

kde:

i index hodnot ze souboru primárních dat,

j index, o který je hodnota Y posunutá vůči X ,

N počet hodnot v souboru primárních dat.

Ze vztahu (16) vyplývá, že pro výpočet korelačního koeficientu na délce $l = j \cdot d$ získáme ze souboru primárních dat vždy $(N - j)$ dvojic hodnot.

5.3. Výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu UT4

Při výpočtu autokorelační funkce vycházíme z těchto předpokladů:

- pro náhodné funkce $f(x)$ a $f(y)$ kolísání hmotnosti po délce příže platí:

$$f(y) = f(x + l), \quad (17)$$

kde l je konstanta.

- pro střední hodnoty $\overline{f_x}$ a $\overline{f_y}$ náhodných funkcí $f(x)$ a $f(y)$ platí:

$$\overline{f_x} = \overline{f_y} = \overline{f} = 0. \quad (18)$$

Přechodem od sumy k integrálu ve vztahu (14) a za užití vztahu (17) získáme kovarianční funkci $\text{cov}_f(l)$ v závislosti na délce l . Po úpravě dostaneme:

$$\text{cov}_f(l) = \frac{1}{h} \int_0^h f(x) f(x + l) dx - \overline{f}^2, \quad (19)$$

kde:

h délka integrovaného úseku.

Pro $h \rightarrow \infty$ a za užití vztahu (18) přejde výraz (19) do tvaru:

$$\text{cov}_f(l) = \lim_{h \rightarrow \infty} \frac{1}{h} \int_0^h f(x) f(x+l) dx. \quad (20)$$

Rozptyl funkce $f(x)$ je definován výrazem $\sigma_f^2 = \text{cov}_f(0)$, autokorelační funkci $\rho_f(l)$ pak vyjádříme jako:

$$\rho_f(l) = \frac{\text{cov}_f(l)}{\text{cov}_f(0)}. \quad (21)$$

Výšky sloupců SPG je možné experimentálně měřit a na jejich základě vyjádřit autokorelační funkci hmotné nestejnoměrnosti příze podle Neckáře [14]. Při výpočtu autor vychází ze dvou hypotéz. V první uvažuje SPG (resp. výšky sloupců SPG) jako amplitudy harmonických funkcí Fourierovy řady, ve druhé jako integrál spojitě spektrální funkce. Místo vlnových délek, použitých ve SPG, autor počítá s frekvencemi, které určíme:

$$\omega_j = \frac{2\pi}{\lambda_j}; \quad j = 1, K, M, \quad (22)$$

kde:

ω_j frekvence j -tého sloupce SPG,

λ_j vlnová délka j -tého sloupce SPG,

M počet sloupců SPG.

Po přepočtu vlnových délek na frekvence získáme klesající posloupnost hodnot. Je však výhodnější používat posloupnost rostoucí, místo indexu j proto zavedeme index $k = 1 + M - j$.

5.3.1. SPG jako amplitudy harmonických funkcí

Přístroj Uster Tester rozkládá zjištěný průběh kolísání hmotnosti po délce příze pomocí Fourierovy transformace na součet konečného počtu harmonických funkcí. Amplitudy harmonických funkcí o určité vlnové délce jsou pak úměrné výškám sloupců spektrogramu. Budeme uvažovat, že vlnové délky nabývají pouze diskrétních hodnot, každé vlnové délce tak přísluší konkrétní hodnota amplitudy.

Náhodnou funkci $f(x)$ kolísání hmotnosti příze podél délkové souřadnice x lze podle Fourierova rozvoje vyjádřit součtem M harmonických funkcí:

$$f(x) = \sum_{k=1}^M a_k \sin(\omega_k x + \delta_k), \quad (23)$$

kde:

a_k amplituda k -té harmonické funkce,

ω_k frekvence k -té harmonické funkce,

δ_k fázový posun k -té harmonické funkce.

V komplexním tvaru funkci $f(x)$ zapíšeme:

$$f(x) = \sum_{k=1}^M (B_k e^{i\omega_k x} + \overline{B_k} e^{-i\omega_k x}), \quad (24)$$

$$B_k = \frac{a_k}{2i} e^{i\delta_k}; \quad \overline{B_k} = -\frac{a_k}{2i} e^{i\delta_k}; \quad B_k \overline{B_k} = \frac{a_k^2}{4}, \quad (25)$$

kde:

$B_k, \overline{B_k}$ komplexně sdružená čísla,

i imaginární jednotka.

Kovarianční funkci $\text{cov}_f(l)$ součtu M harmonických funkcí získáme dosazením vztahu (24) do (20). Po úpravě dostaneme:

$$\text{cov}_f(l) = \sum_{k=1}^M [B_k \overline{B_k} (e^{-i\omega_k l} + e^{i\omega_k l})]. \quad (26)$$

Užitím vztahů (25) v (26) nalezneme kovarianční funkci jako:

$$\text{cov}_f(l) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M a_k^2 \cos(\omega_k l). \quad (27)$$

Autokorelační funkci součtu M harmonických funkcí pak určíme zdefinice (21) s užitím vztahu (27):

$$\rho_f(l) = \frac{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^M [a_k^2 \cos(\omega_k l)]}{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^M a_k^2} = \frac{\sum_{k=1}^M [a_k^2 \cos(\omega_k l)]}{\sum_{k=1}^M a_k^2}. \quad (28)$$

Mezi k -tou amplitudou harmonické funkce a_k a k -tou výškou sloupce SPG v_k uvažujeme lineární závislost:

$$v_k = c a_k, \quad (29)$$

kde:

c konstanta měřicího zařízení.

Výslednou autokorelační funkci $\rho_f(l)$ hmotné nestejnoměrnosti příze získáme dosazením vztahu (29) do (28):

$$\rho_f(l) = \frac{\sum_{k=1}^M \left[\left(\frac{v_k}{c} \right)^2 \cos(\omega_k l) \right]}{\sum_{k=1}^M \left(\frac{v_k}{c} \right)^2} = \frac{\sum_{k=1}^M [v_k^2 \cos(\omega_k l)]}{\sum_{k=1}^M v_k^2}. \quad (30)$$

Ze vztahu (30) je zřejmé, že pro výpočet autokorelační funkce není nutné znát konstantu měřicího zařízení c . Konstanta c může být interpretována také jako měřítko svislé osy SPG, tzn. při experimentálním zjišťování hodnot v_k není třeba kalibrovat svislou osu podle skutečné hodnoty, která je na ní vynesena.

5.3.2. SPG jako odmocnina dílčích integrálů spojitě spektrální funkce

Výpočet autokorelační funkce podle [14] vychází z předpokladu, že přístroj Uster Tester interpretuje určitý interval vlnových délek (frekvencí) vždy pouze jednou hodnotou. Této frekvenci pak přiřazuje hodnotu, tj. výšku sloupce SPG, která je úměrná integrálu spojitě spektrální funkce přes daný interval frekvencí.

Náhodnou funkci $f(x)$ kolísání hmotnosti příze podél délkové souřadnice x lze vyjádřit součtem M harmonických funkcí Fourierova rozvoje, kovarianční funkci $\text{cov}_f(l)$ pak získáme ze vztahu (26).

Pro další úvahy indexy k rozšíříme i na záporné hodnoty, tj.:

$$k = -M, K, -1, 0, 1, K, M. \quad (31)$$

Zavedeme označení:

$$a_{-k} = -a_k; \quad \delta_{-k} = -\delta_k; \quad \omega_{-k} = -\omega_k. \quad (32)$$

Pro $k = 0$ definujeme:

$$a_0 = 0; \quad \omega_0 = 0; \quad B_0 = \overline{B_0} = B_0 \overline{B_0} = 0. \quad (33)$$

Veličiny označované indexem k jsou vztažené k frekvenci ω_k , můžeme je tedy chápat jako funkce ω_k . Budeme používat označení:

$$a_k = a(\omega_k); \quad B_k = B(\omega_k); \quad \overline{B_k} = \overline{B}(\omega_k); \quad \delta_k = \delta(\omega_k). \quad (34)$$

Rozdíl $\Delta\omega_k$ mezi dvěma sousedními frekvencemi ω_k a ω_{k-1} vyjádříme:

$$\Delta\omega_k = \omega_k - \omega_{k-1}. \quad (35)$$

Dále budeme uvažovat, že se počet sčítaných harmonických funkcí blíží k nekonečnu ($M \rightarrow \infty$). Za těchto předpokladů přejde kovarianční funkce $\text{cov}_f(l)$ do tvaru:

$$\text{cov}_f(l) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} B(\omega_k) \overline{B}(\omega_k) e^{-i\omega_k l}. \quad (36)$$

Dále zavedeme za užití (25) označení:

$$H(\omega_k) = \sum_{j=-\infty}^k [B(\omega_j) \overline{B}(\omega_j)] = \sum_{j=-\infty}^k \frac{a^2(\omega_j)}{4},$$

$$\Delta H(\omega_k) = H(\omega_k) - H(\omega_{k-1}) = B(\omega_k) \overline{B}(\omega_k) = \frac{a^2(\omega_k)}{4}. \quad (37)$$

Na základě vztahu (37) definujeme spektrální funkci $S(\omega_k)$ jako:

$$S(\omega_k) = \frac{\Delta H(\omega_k)}{\Delta \omega_k}. \quad (38)$$

Kovarianční funkci můžeme užitím (37) a (38) ve vztahu (36) přepsat do tvaru:

$$\text{cov}_f(l) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} [S(\omega_k) e^{-i\omega_k l} \Delta \omega_k]. \quad (39)$$

Pro každé $\Delta \omega_k = (\omega_k - \omega_{k-1})$ budeme uvažovat $\Delta \omega_k \rightarrow 0$, ve vztahu (39) přejdeme k integrálu. Po úpravě získáme kovarianční funkci $\text{cov}_f(l)$ v integrálním tvaru:

$$\text{cov}_f(l) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{-i\omega l} d\omega = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) \cos(\omega l) d\omega. \quad (40)$$

Autokorelační funkci vyjádříme užitím vztahu (40) v definici (21):

$$\rho_f(l) = \frac{\int_0^{\infty} S(\omega) \cos(\omega l) d\omega}{\int_0^{\infty} S(\omega) d\omega}. \quad (41)$$

Obdobným postupem jako při odvození kovarianční funkce získáme ze vztahu (24) integrální vyjádření náhodné funkce $f(x)$ kolísání hmotnosti příze podél délkové souřadnice x (podrobné odvození viz [14]):

$$f(x) = \int_0^{\infty} \alpha(\omega) \sin[\omega x + \delta(\omega)] d\omega, \quad (42)$$

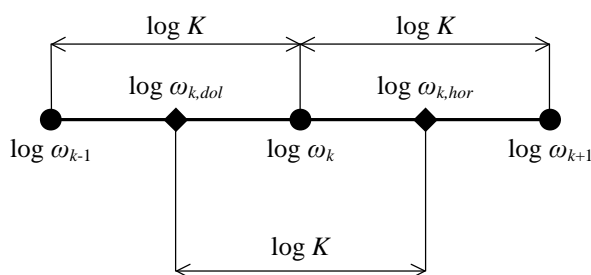
kde:

$\alpha(\omega)$ amplituda harmonické funkce,

ω frekvence harmonické funkce,

$\delta(\omega)$ fázový posun harmonické funkce.

Pro výpočet autokorelační funkce na základě experimentálně stanovených výšek sloupců SPG v_k se vychází z předpokladu, že jsou úměrné odmocninám dílčích integrálů spojité spektrální funkce. Integrační oblast je dána okolím frekvence ω_k , jak znázorňuje obr. 12. Přístroj UT4 používá frekvence rostoucí geometrickou řadou. Použitím logaritmické stupnice získáme mezi sousedními logaritmy frekvencí konstantní intervaly o velikosti $\log K = \log \sqrt[10]{2}$ (viz kap. 4.3.2). Okolí hodnoty $\log \omega_k$ je ohraničeno hodnotami $\log \omega_{k,dol}$ (dolní mez intervalu) a $\log \omega_{k,hor}$ (horní mez intervalu).



Obr. 12: Logaritmická stupnice frekvencí ω_k .

Podle obr. 12 vyjádříme:

$$\log \omega_{k,dol} = \log \omega_k - \frac{1}{2} \log K; \quad \log \omega_{k,hor} = \log \omega_k + \frac{1}{2} \log K; \quad (43)$$

$$\omega_{k,dol} = \frac{\omega_k}{\sqrt{K}}; \quad \omega_{k,hor} = \omega_k \sqrt{K}.$$

Pro výšky sloupců SPG v_k z přístroje UT4 pak předpokládáme:

$$v_k = c \sqrt{\int_{\omega_k/\sqrt{K}}^{\omega_k\sqrt{K}} S(\omega) d\omega}, \quad (44)$$

kde:

c konstanta měřicího zařízení.

Za užití vztahů (43) a (44) odhadneme spektrální funkci $S(\omega_k)$ v místě $\omega = \omega_k$ z její střední hodnoty $\bar{S}(\omega_k)$:

$$\bar{S}(\omega_k) = \frac{\int_{\omega_{k,dol}}^{\omega_{k,hor}} S(\omega) d\omega}{\omega_{k,hor} - \omega_{k,dol}} = \frac{v_k^2}{\omega_k} \cdot \frac{1}{c^2(\sqrt{K} - 1/\sqrt{K})} = \frac{v_k^2}{\omega_k} Q = S(\omega_k), \quad (45)$$

kde:

$$Q \dots\dots\dots \text{souhrnná konstanta měřicího zařízení, } Q = \frac{1}{c^2(\sqrt{K}-1/\sqrt{K})}.$$

Mezi hodnotami ω_{k-1} a ω_k dodefinujeme spektrální funkci pomocí lineární interpolace.

Spektrální funkci $S(\omega)$ pro $\omega \in (\omega_{k-1}, \omega_k)$ pak vyjádříme:

$$S(\omega) = Q(k_k \omega + q_k); \quad k = 2, K, M, \quad (46)$$

$$k_k = \frac{v_k^2 / \omega_k - v_{k-1}^2 / \omega_{k-1}}{\omega_k - \omega_{k-1}}; \quad q_k = -\frac{v_k^2 / \omega_k - v_{k-1}^2 / \omega_{k-1}}{\omega_k - \omega_{k-1}} \omega_{k-1} + \frac{v_{k-1}^2}{\omega_{k-1}}, \quad (47)$$

kde:

$k_k, q_k \dots\dots\dots$ koeficienty interpolace k -té hodnoty spektrální funkce.

Integrály ze vztahu (41) získáme sečtením dílčích integrálů spektrální funkce a užitím vztahu (46):

$$\int_0^\infty S(\omega) \cos(\omega l) d\omega = \sum_{k=2}^M \int_{\omega_{k-1}}^{\omega_k} Q(k_k \omega + q_k) \cos(\omega l) d\omega, \quad (48)$$

$$\int_0^\infty S(\omega) d\omega = \sum_{k=2}^M \int_{\omega_{k-1}}^{\omega_k} Q(k_k \omega + q_k) d\omega. \quad (49)$$

Úpravou vztahů (48) a (49) dostaneme:

$$\begin{aligned} \frac{1}{Q} \int_0^\infty S(\omega) \cos(\omega l) d\omega = \frac{1}{l} \sum_{k=2}^M \left\{ k_k \left[\frac{\cos(\omega_k l) - \cos(\omega_{k-1} l)}{l} + \omega_k \sin(\omega_k l) - \right. \right. \\ \left. \left. - \omega_{k-1} \sin(\omega_{k-1} l) \right] + q_k [\sin(\omega_k l) - \sin(\omega_{k-1} l)] \right\}, \end{aligned} \quad (50)$$

$$\frac{1}{Q} \int_0^\infty S(\omega) d\omega = \sum_{k=2}^M \left[\frac{k_k (\omega_k^2 - \omega_{k-1}^2)}{2} + q_k (\omega_k - \omega_{k-1}) \right]. \quad (51)$$

Autokorelační funkci $\rho_f(l)$ hmotné nestejnoměrnosti příze pak na základě vztahu (41) získáme jako:

$$\rho_f(l) = \frac{\frac{1}{Q} \int_0^\infty S(\omega) \cos(\omega l) d\omega}{\frac{1}{Q} \int_0^\infty S(\omega) d\omega}. \quad (52)$$

Ze vztahu (52) vyplývá, že pro výpočet autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze není třeba znát souhrnnou konstantu měřicího zařízení Q , a tedy ani měřítko svislé osy SPG.

6. Praktický výpočet autokorelační funkce

Přístroj UT4 umožňuje získání souboru primárních dat kolísání hmotnosti po délce příze v ASCII formátu. Autokorelační funkci pak můžeme počítat podle definice korelačního koeficientu, jak bylo popsáno v kap. 5.2. Dostupnost primárních dat však nepatří do standardní výbavy přístroje a bylo proto nutné vyvinout i jinou metodu výpočtu.

Pokud nejsou primární data k dispozici, příp. u starších typů přístroje Uster Tester, lze autokorelační funkci určit ze spektrogramu podle Neckáře [14]. Pro výpočet je nutné experimentálně zjistit výšky sloupců SPG, který je však běžně dostupný pouze v tištěné podobě. Převod do digitální formy je možné provést skenováním SPG a měřením výšek jeho sloupců pomocí obrazové analýzy.

6.1. Praktický výpočet autokorelační funkce z primárních dat UT4

Autokorelační funkci z primárních dat kolísání hmotnosti lze počítat přímo z definice korelačního koeficientu. Označíme-li X náhodnou veličinu kolísání hmotnosti po délce příze a Y náhodnou veličinu kolísání hmotnosti po délce příze vůči X o konstantu l posunutou, můžeme kovarianci $\text{cov}(X, Y)$ náhodných veličin X a Y počítat podle vztahu (14). Pro snadnější výpočet je možné výraz upravit do tvaru:

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \bar{X} \cdot \bar{Y}, \quad (53)$$

kde:

X_i i -tá hodnota náhodné veličiny kolísání hmotnosti příze,

Y_i i -tá hodnota náhodné veličiny kolísání hmotnosti příze, vůči X_i

je o konstantu l posunutá,

\bar{X}, \bar{Y} střední hodnoty veličin X a Y ,

N počet hodnot v souboru primárních dat.

Obdobně můžeme upravit i vztahy pro výpočet rozptylů σ_X^2 a σ_Y^2 :

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2 - \bar{X}^2; \quad \sigma_Y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i^2 - \bar{Y}^2. \quad (54)$$

Střední hodnoty \bar{X} a \bar{Y} určíme podle definice:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i; \quad \bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i. \quad (55)$$

Protože soubor primárních dat obsahuje velké množství hodnot kolísání hmoty příze (řádově desetitisíce), rozptyly σ_X^2 a σ_Y^2 jsou prakticky stejné. Podobně i střední hodnoty \bar{X} a \bar{Y} jsou téměř shodné.

Korelační koeficient $\rho(X,Y)$ náhodných veličin X a Y podle definice (15) vyjádříme jako:

$$\rho(X,Y) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2 - \bar{X}^2 \right) \cdot \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i^2 - \bar{Y}^2 \right)}}. \quad (56)$$

Obecný postup výpočtu byl již naznačen v kap. 5.2. Pro snadnější porozumění bude proto výpočet vysvětlen na konkrétním příkladě.

MASSDGR					
<i>CrvNo</i>	<i>Points</i>	<i>Average</i>	<i>UnitX</i>	<i>xMin</i>	<i>xMax</i>
1	18458	1	35	0	400
<i>dX</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>UnitY</i>	<i>yMin</i>	<i>yMax</i>
0,021672	0	0	46	-100	150
<i>XValues</i>			<i>YValues</i>		
			-3,663		
			-6,044		
			1,099		
			18,62		
			20,33		
			-23,75		
			-1,282		
			-16,97		
			-3,236		
			-21,43		

Tab. 3: Ukázka souboru primárních dat.

Ukázka souboru primárních dat hmotné nestejnoměrnosti příze je v tab. 3. Na začátku souboru je hlavička, z níž nás budou zajímat jen některé hodnoty. Nejprve si povšimněme hodnoty *Points*, která představuje celkový počet proměřených bodů. Pro výpočet však tuto hodnotu nebudeme potřebovat. Zajímat nás budou hodnoty *yValues*, které vyjadřují kolísání hmotnosti příze (v tab. 3 je uvedeno pouze prvních deset hodnot). Při zpracování naměřených dat přístrojem UT4 je od původních hodnot hmotnosti odečtena konstanta, která je stanovena jako střední hodnota hmotnosti

za prvních 15 s měření. Hodnoty $yValues$ mohou proto být i záporné. Jednotky této veličiny přístroj UT4 neudává. Jak bude ukázáno později, pro výpočet autokorelační funkce je znát nepotřebujeme.

Pro výpočet autokorelační funkce je dále třeba znát vzdálenost mezi dvěma sousedními body na přízi, v nichž byla měřena hmotná nestejnoměrnost. V souboru primárních dat je tato hodnota značena dX a její velikost je uváděna v [m]. Použijeme pro ni označení d (viz kap. 5.2). V tab. 3 si můžeme všimnout prázdného sloupce $xValues$. Tyto hodnoty představují vzdálenost bodů, ve kterých byla měřena hmotná nestejnoměrnost, od počátku. Z tab. 3 vyčteme minimální délkovou souřadnici $xMin$ a maximální délkovou souřadnici $xMax$. Vzhledem k tomu, že jednotlivé proměřené body jsou od sebe vzdáleny o dX , hodnoty $xValues$ můžeme vypočítat na základě $xMin$ a $xMax$. V souboru primárních dat je tedy není nutné uvádět.

$l = d$		$l = 2d$		$l = 3d$	
X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i
-3,663	-6,044	-3,663	1,099	-3,663	18,62
-6,044	1,099	-6,044	18,62	-6,044	20,33
1,099	18,62	1,099	20,33	1,099	-23,75
18,62	20,33	18,62	-23,75	18,62	-1,282
20,33	-23,75	20,33	-1,282	20,33	-16,97
-23,75	-1,282	-23,75	-16,97	-23,75	-3,236
-1,282	-16,97	-1,282	-3,236	-1,282	-21,43
-16,97	-3,236	-16,97	-21,43		
-3,236	-21,43				

Tab. 4: Hodnoty X_i a Y_i pro výpočet autokorelační funkce z definice korelačního koeficientu.

Princip výpočtu autokorelační funkce bude vysvětlen na příkladu příze z tab. 3. Počítat budeme pouze s uvedenými deseti hodnotami hmotnosti pro tři hodnoty délky l , jak ukazuje tab. 4. Podle postupu popsaného v kap. 5.2 použijeme pro vyjádření X_i na délce $l = d$ první až devátou hodnotu $yValues$ ze souboru primárních dat, pro příslušné Y_i použijeme druhou až desátou hodnotu $yValues$. Dostaneme tak devět dvojic hodnot, ze kterých určíme korelační koeficient podle rovnice (56) s užitím vztahu (55). Stejným postupem určíme korelační koeficient na délce $l = 2d$ z první až osmé hodnoty $yValues$ pro X_i a třetí až desáté hodnoty pro Y_i . Na délce $l = 3d$ vypočítáme korelační koeficient s použitím první až sedmé hodnoty $yValues$ pro X_i a čtvrté až desáté hodnoty pro Y_i . Dostaneme celkem tři hodnoty korelačního koeficientu hmotné

nestejnoměrnosti na různé délce příze l , tuto závislost pak označujeme jako autokorelační funkci hmotné nestejnoměrnosti příze $\rho_f(l)$.

Manuální zpracování výpočtu je pro velké množství dat nevhodné, autorkou byl proto vypracován výpočetní program „Korfu_prim_data“ v softwaru Matlab 6.5. Program načte hodnoty kolísání hmotnosti příze ze souboru primárních dat, u kterého je nejprve třeba odstranit hlavičku. Program po spuštění vyžaduje zadání názvu vstupního souboru včetně přípony, kroku d (vzdálenost mezi sousedními body na přízi, v nichž byla měřena hmotná nestejnoměrnost) a počet kroků, se kterými bude program pracovat. Počet kroků D udává maximální hodnotu délky l (argument autokorelační funkce), tzn. maximální délka $l_{max} = D \cdot d$. Program vykreslí autokorelační funkci $\rho_f(l)$ do grafu a výsledná data automaticky uloží do výstupního textového souboru s příponou *.txt. Program s popisem je uveden v příloze 2 a na přiloženém CD ROM.

Pro úplnost je třeba dodat, že odečtením (přičtením) libovolné konstanty Z od každé hodnoty X_i a Y_i se kovariance nezmění. Místo X_i budeme psát $(X_i - Z)$, Y_i nahradíme $(Y_i - Z)$. Ze vztahu (53) pro kovarianci $\text{cov}(X, Y)$ dostaneme:

$$\begin{aligned}\text{cov}(X, Y) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Z) \cdot (Y_i - Z) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Z) \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - Z) = \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i Y_i + Z^2 - Z \bar{Y} - Z \bar{X} - \bar{X} \cdot \bar{Y} + Z \bar{Y} + Y \bar{X} - Z^2 = \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \bar{X} \cdot \bar{Y}.\end{aligned}\quad (57)$$

Podobně ani rozptyly σ_X^2 a σ_Y^2 se odečtením (přičtením) libovolné konstanty Z nezmění, a tedy i hodnota korelačního koeficientu zůstává zachována.

Také násobením každé hodnoty X_i a Y_i konstantou Z , tj. $X_i \rightarrow ZX_i$, $Y_i \rightarrow ZY_i$, se hodnota korelačního koeficientu nezmění, neboť platí:

$$\begin{aligned}\text{cov}(X, Y) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ZX_i ZY_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ZX_i \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ZY_i = \\ &= Z^2 \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \right),\end{aligned}\quad (58)$$

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ZX_i)^2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ZX_i \right)^2 = Z^2 \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2 - \bar{X}^2 \right), \quad (59)$$

$$\sigma_Y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ZY_i)^2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ZY_i \right)^2 = Z^2 \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i^2 - \bar{Y}^2 \right). \quad (60)$$

Po dosazení vztahů (58), (59) a (60) do definice korelačního koeficientu (15) se konstanty Z^2 v čitateli a ve jmenovateli vzájemně vykrátí. Hodnoty autokorelační funkce jsou tedy nezávislé na měřítku (jednotkách) hodnot X_i a Y_i .

6.2. Praktický výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu přístroje Uster Tester

Výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu vychází ze znalosti výšek jednotlivých sloupců a příslušných vlnových délek. Hodnoty výšek sloupců je možné zjistit experimentálním měřením pomocí obrazové analýzy. Vlnové délky vypočítáme na základě znalosti parametrů použitého typu přístroje Uster Tester a následně je přepočítáme na frekvence podle vztahu (22).

Autokorelační funkci hmotné nestejnoměrnosti příze pak získáme užitím naměřených výšek sloupců SPG v_k a vypočtených frekvencí ω_k (index j použitý v (22) nahradíme indexem $k = 1 + M - j$, M je celkový počet sloupců SPG) ve vztahu (30), resp. dosazením (47), (50) a (51) do (52).

Výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu přístroje Uster Tester byl autorkou zpracován v softwaru Matlab 6.5 do dvou programů. Program „Korfu_sloupce_disk“ slouží k výpočtu autokorelační funkce ze spektrogramu podle vztahu (30), kde jsou výšky sloupců uvažovány jako amplitudy harmonických funkcí Fourierova rozvoje. Program „Korfu_sloupce_spoj“ slouží k výpočtu autokorelační funkce ze spektrogramu podle vztahu (52) s užitím výrazů (47), (50) a (51), kde je SPG uvažován jako odmocnina dílčích integrálů spojitě spektrální funkce.

Oba programy po spuštění vyžadují zadání názvu textového souboru vstupních dat včetně přípony, celkové proměřené délky příze a počtu kroků, se kterými budou pracovat. Počet kroků D udává maximální délku $l_{max} = D \cdot d$. Krok d mezi dvěma sousedními hodnotami l programy automaticky volí jako nejmenší hodnotu vlnové délky SPG. Vlnové délky použité ve SPG jsou počítány programem „Vlnedelky“ na základě hodnoty celkové proměřené délky příze a typu přístroje, jak bude ukázáno v kap. 6.2.1. Tento program vyžaduje zadání doplňkových údajů, kterými jsou typ přístroje a vlnová délka, na základě které se bude provádět výpočet ostatních vlnových

délek SPG. Program „Vlnelky“ je automaticky spuštěn při spuštění programu „Korfu_sloupce_disk“ nebo „Korfu_sloupce_spoj“.

Programy vykreslí autokorelační funkci $\rho_f(l)$ do grafu a výsledná data automaticky uloží do výstupního textového souboru s příponou *.txt.

Programy „Korfu_sloupce_disk“ a „Korfu_sloupce_spoj“ jsou v příloze 3 a 4, příloha 3 obsahuje i program „Vlnelky“. Programy jsou také obsaženy na přiloženém CD ROM.

6.2.1. Výpočet vlnových délek

U všech typů přístroje Uster Tester obecně platí, že statisticky spolehlivá hodnota vlnové délky je $1/20$ z celkové proměřené délky příze. Tuto vlnovou délku označíme λ_s (ve SPG přísluší s -tému sloupci) a použijeme pro výpočet zbývajících vlnových délek SPG. Ze vztahu (13) můžeme vyjádřit:

$$\lambda_j = \lambda_s \cdot K^{(j-s)}; \quad j = 1, K, M, \quad (61)$$

kde:

λ_j j -tá vlnová délka spektrogramu,

Kkonstanta měřicího zařízení (její hodnoty pro jednotlivé typy přístroje jsou v tab. 1),

Mpočet sloupců ve spektrogramu.

Pro UT4 je $K = \sqrt[10]{2}$, tzn. hodnota každé desáté vlnové délky je statisticky spolehlivá.

Pro vlnové délky zavedeme značení:

$$\lambda_{1/20} = \frac{L_c}{20}; \quad \lambda_{1/5} = \frac{L_c}{5}, \quad (62)$$

kde:

$\lambda_{1/20}$ vlnová délka o hodnotě $1/20$ z celkové proměřené délky příze,

$\lambda_{1/5}$ vlnová délka o hodnotě $1/5$ z celkové proměřené délky příze,

L_c celková proměřená délka příze.

Vlnovou délku j -tého sloupce SPG přístroje UT4 pro $j = s + 20$ můžeme podle vztahu (61) s užitím $\lambda_s = \lambda_{1/20}$ počítat jako:

$$\lambda_{s+20} = \lambda_{1/20} \cdot 2^{\frac{20}{10}} = \frac{L_c}{20} \cdot 4 = \frac{L_c}{5} = \lambda_{1/5}. \quad (63)$$

Vlnovou délku λ_j je tedy možné počítat na základě $\lambda_{1/5}$, neboť i tato hodnota je statisticky spolehlivá. Výpočet lze s výhodou použít tehdy, má-li poslední sloupec SPG

vlnovou délku rovnu $\lambda_{1/5}$. Pořadí sloupce ve spektrogramu s pak nemusíme zjišťovat. V případě, že hodnota $1/5$ z celkové proměřené délky příze u přístroje UT4-SX přesahuje 1100m, je poslední vlnová délka rovna právě 1100m.

6.2.2. Měření výšek sloupců pomocí obrazové analýzy

K experimentálnímu zjišťování výšek sloupců SPG lze s výhodou použít obrazové analýzy.

SPG v tištěné podobě převedeme do digitální formy skenováním. Skenovaný obrázek je pak možné vyhodnotit s použitím základních funkcí obrazové analýzy. Jedním z možných postupů určení výšky sloupce je zjištění y -ové souřadnice paty a vrcholu sloupce a jejich vzájemné odečtení. Pro proměření výšek sloupců celého SPG stačí zjistit souřadnice paty jednoho ze sloupců (např. prvního) a souřadnice vrcholů všech sloupců.

Hodnota autokorelační funkce není závislá na měřítku svislé osy (viz kap. 5.3.1 a 5.3.2). Souřadnice proto můžeme měřit přímo v pixelech, aniž bychom museli kalibrovat svislou osu SPG. Tím odpadají problémy spojené s kalibrací u starších typů přístroje Uster Tester, které ve SPG veličinu na svislé ose neudávají. UT4 používá ve SPG přímo hodnoty střední kvadratické nestejnoměrnosti CV [%].

Při praktickém zjišťování souřadnic budeme postupovat tak, že patu a vrcholy sloupců skenovaného SPG manuálně označíme pomocí bodů (myší). Každý sloupec skenovaného SPG má šířku několik pixelů. Není podstatné, který z těchto pixelů označíme. Důležité je zachování sledu x -ových souřadnic jednotlivých sloupců, tzn. žádné dva sloupce nesmějí mít stejnou x -ovou souřadnici, ani nesmí dojít k záměně sloupců. Jednotlivé body se také nesmějí vzájemně dotýkat, neboť dotýkající se body obrazová analýza vyhodnotí jako bod jediný.

Naměřená data pro další zpracování exportujeme do textového souboru a vyhodnotíme např. v programu Excel. Obrazová analýza třídí naměřená data vzestupně podle y -ové souřadnice, pro vyhodnocení je setřídíme vzestupně podle x -ové souřadnice. Odečtením y -ové souřadnice paty prvního sloupce od y -ových souřadnic vrcholů sloupců získáme hledané výšky sloupců SPG. Výsledky uložíme do textového souboru pro další výpočetní zpracování.

Podrobný postup měření výšek sloupců v systému obrazové analýzy LUCIA G je popsán v příloze 5.

7. Experimentální část

Cílem experimentu bylo zjištění průběhu autokorelační funkce vypočítané z primárních dat kolísání hmoty po délce příze a jeho porovnání s autokorelační funkcí určenou ze spektrogramu podle [14].

7.1. Použitý materiál

Možnosti výpočtu autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti byly ověřovány na souboru 6 přízí ze 100% bavlny firmy Seba Tanvald. Od každého typu příze bylo použito 10 potáčů. Parametry jednotlivých typů příze jsou v tab. 5. Zákrut příze byl orientačně určen jako průměrná hodnota z 20 měření.

Číslo vzorku	Výrobní technologie	Jemnost [tex]	Zákrut [m^{-1}]
1	M II prstencová, česaná	7,4	1122
2	M II prstencová, česaná	10	1038
3	A I prstencová, česaná	14,5	996
4	A I prstencová, česaná	16,5	872
5	A I prstencová, česaná	20	796
6	A I prstencová, mykaná	25	754

Tab. 5: Přehled použitého materiálu.

7.2. Popis měření

Pro každý typ příze z tab. 5 bylo na přístroji UT 4-SX proměřeno 10 potáčů s použitím parametrů uvedených v tab. 6.

Rychlost průchodu materiálu mezi senzory	400 m.min ⁻¹
Doba trvání zkoušky	1 min
Report	B21Q2
Celková proměřená délka příze	400 m
Klimatické podmínky	
Teplota vzduchu	22 °C
Relativní vlhkost vzduchu	55 %
Vzorky nebyly klimatizovány	

Tab. 6: Parametry použité při měření hmotné nestejnoměrnosti u 6 typů přízí.

Použitý report B21Q2 zahrnuje tyto numerické a grafické výsledky:

- střední lineární nestejnoměrnost $U\%$ [%]
- střední kvadratická nestejnoměrnost CVm [%]
- střední lineární nestejnoměrnost na dlouhých úsečkách U_{inert} [%] a na středních úsečkách U_{hi} [%]

- střední kvadratická nestejnoměrnost na dlouhých úsečkách CV_{inert} [%] a na středních úsečkách CV_{hi} [%]
- počet slabých míst *Thin* (-30%, -40%, -50%, -60%) [km^{-1}]
- počet silných míst *Thick* (+35%, +50%, +70%, +100%) [km^{-1}]
- počet nopků *Neps* (+140%, +200%, +280%, +400%) [km^{-1}]
- chlupatost H [] a standardní odchylka chlupatosti sh []
- spektrogram a diagram hmotné nestejnoměrnosti
- spektrogram a diagram chlupatosti

Na 10 potáčích příze č. 2 bylo provedeno měření hmotné nestejnoměrnosti při jiné testovací rychlosti. Použité parametry jsou v tab. 7. Při měření byl vyřazen z činnosti senzor pro měření chlupatosti, použitý report B21Q2 tedy obsahuje výše uvedené veličiny kromě chlupatosti a standardní odchylky chlupatosti.

Ukázky výsledných reportů měření pro jeden potáč od každého typu příze a jeden potáč příze č. 2 z měření s jinou testovací rychlostí jsou uvedeny v příloze 6.

Rychlost průchodu materiálu mezi senzory	200 m.min ⁻¹
Doba trvání zkoušky	1 min
Report	B21Q2
Celková proměřená délka příze	200 m
Klimatické podmínky	
Teplota vzduchu	24 °C
Relativní vlhkost vzduchu	59 %
Vzorky byly po dobu 24 hod před měřením klimatizovány při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 2 %	

Tab. 7: Parametry použité při měření hmotné nestejnoměrnosti příze č. 2 při odlišné testovací rychlosti.

Pro vyhodnocení autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze popsanými metodami použijeme primární data z diagramu hmotné nestejnoměrnosti a spektrogram hmotné nestejnoměrnosti tištěný na papír.

Z přístroje byla získána primární data kolísání hmotnosti přízí ve formě textových souborů. Hlavička a prvních 120 hodnot kolísání hmotnosti po délce příze pro vzorek č. 1 (1 potáč) je v tab. 8. Pro zpracování výsledků použijeme hodnotu dX (uvedena v [m]), která vyjadřuje vzdálenost mezi dvěma sousedními místy na přízi, v nichž byla měřena hmotná nestejnoměrnost. Hodnoty $yValues$ (bez udání jednotek, k výpočtu je však znát nepotřebujeme – viz kap. 6.1) představují kolísání hmotnosti po délce příze.

<i>CrvNo</i>	<i>Points</i>	<i>Average</i>	<i>unitX</i>	<i>xMin</i>	<i>xMax</i>
1	18458	1	35	0	400
<i>dX</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>unitY</i>	<i>yMin</i>	<i>yMax</i>
0,021672	0	0	46	-100	150
<i>yValues</i>					
-3,663	1,404	17,22	17,7	-5,006	-26,92
-6,044	-6,044	22,59	25,76	-10,56	-14,71
1,099	-18,44	-14,29	-2,625	-20,15	-7,387
18,62	-3,724	-10,74	13,37	-7,448	-4,151
20,33	-2,198	3,663	18,44	3,358	1,954
-23,75	6,288	23,14	-12,76	5,556	2,747
-1,282	-23,69	31,87	7,692	-15,14	22,34
-16,97	-42,06	1,893	-9,585	9,768	24,79
-3,236	-13,68	33,33	5,556	14,22	-10,56
-21,43	0,9768	10,26	-19,17	-13,74	15,38
-6,105	-27,47	-4,945	14,9	-13,92	-10,62
-16,85	-4,151	0,6716	2,076	-7,204	11,97
-2,686	2,076	-8,486	24,42	-6,044	14,84
-21,86	5,128	-9,28	32,66	4,884	-24,48
-0,9768	-28,51	5,006	-15,87	-12,82	-9,829
-11,36	8,425	9,219	-2,503	-19,84	-8,486
9,707	-30,46	11,29	11,11	-7,387	5,861
-14,47	-41,94	15,26	-6,532	-1,587	-21,67
-26,98	20,63	-2,625	17,34	4,518	9,463
-3,419	-6,288	12,09	-7,082	-14,96	4,579

Tab. 8: Hodnoty ze souboru primárních dat příže č. 1.

Výšky sloupců spektrogramu [pxl]									
97	189	195	156	119	94	72	67	49	11
103	186	187	152	102	86	81	54	22	16
108	188	180	152	107	82	82	40	19	24
113	192	170	158	101	89	78	35	20	23
122	195	162	159	93	86	66	34	17	19
129	189	165	143	99	79	64	63	25	17
138	183	169	130	101	76	66	69	33	14
147	193	166	147	92	77	71	45	38	6
157	211	155	153	84	79	73	35	38	4
167	208	155	130	81	89	70	49	28	10
175	193	162	118	84	81	60	49	16	15
186	194	162	126	90	62	63	49	16	17

Tab. 9: Výšky sloupců spektrogramu příže č. 1.

Spektrogramy jednotlivých potáčů byly naskenovány a v systému obrazové analýzy LUCIA G byly postupem popsáním v kap. 6.2.2 změřeny výšky jednotlivých sloupců. Výsledky byly uloženy do textových souborů. Počet sloupců ve spektrogramu byl 120,

maximální vlnová délka $\lambda_M = 80$ (tj. 1/5 z celkové proměřené délky příze). Výšky sloupců SPG v pixelech pro přízi č. 1 (1 potáč) jsou v tab. 9.

7.3. Zpracování experimentálních dat

Pro výpočet autokorelační funkce byla primární data kolísání hmotnosti pro jednotlivé typy příze zpracována programem „Korfu_prim_data“. Obdobně byly vypočteny autokorelační funkce z výšek sloupců SPG, které byly naměřeny obrazovou analýzou LUCIA G, s použitím programů „Korfu_sloupce_disk“ (pro SPG jako amplitudy harmonických funkcí Fourierova rozvoje) a „Korfu_sloupce_spoj“ (pro SPG jako odmocninu dílčích integrálů spojitě spektrální funkce). Vstupní parametry použité v programech pro výpočet autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti přízí č. 1 – 6 při testovací rychlosti $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ jsou uvedeny v tab. 10. Vstupní parametry pro přízi č. 2 při testovací rychlosti $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ jsou v tab. 11. Hodnoty celkové proměřené délky příze L_C pro výpočet autokorelační funkce z primárních dat programem „Korfu_prim_data“ jsou uvedeny v závorce, neboť je program k výpočtu nepotřebuje.

Program	Krok d [m]	Počet kroků D []	Celková proměřená délka příze L_C [m]	Maximální délka l_{max} [m]
Korfu_prim_data	0,021672	300	(400)	6,5016
Korfu_sloupce_disk	0,02093	300	400	6,279
Korfu_sloupce_spoj				

Tab. 10: Parametry použité ve výpočetních programech pro vyhodnocení přízí měřených s testovací rychlostí $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Program	Krok d [m]	Počet kroků D []	Celková proměřená délka příze L_C [m]	Maximální délka l_{max} [m]
Korfu_prim_data	0,010836	600	(200)	6,5016
Korfu_sloupce_disk	0,01047	600	200	6,282
Korfu_sloupce_spoj				

Tab. 11: Parametry použité ve výpočetních programech pro vyhodnocení příze č. 2 měřené s testovací rychlostí $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Při výpočtu autokorelační funkce z primárních dat vychází použitý krok d ze vzdálenosti dvou sousedních míst na přízi, v nichž byla měřena hmotná nestejnoměrnost. Počet kroků D byl volen 300 pro testovací rychlost $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, tzn. autokorelační funkce byla počítána až do délky $l_{max} = 300 \cdot 0,021672 = 6,5016 \text{ m}$. Při výpočtu autokorelační funkce ze SPG (oběma metodami) byl krok d zvolen jako nejmenší vlnová délka použitá ve SPG. Počet kroků D byl použit stejný jako při

výpočtu na základě primárních dat, maximální délka pro výpočet autokorelační funkce ze SPG při testovací rychlosti $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ byla $l_{\max} = 300 \cdot 0,02093 = 6,279 \text{ m}$.

Při měření příze č. 2 s testovací rychlostí $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ byl počet kroků D volen dvojnásobný oproti měření s rychlostí $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Autokorelační funkce tak byla vypočtena přibližně do stejné délky l_{\max} .

Pro každý typ příze bylo získáno 10 autokorelačních funkcí hmotné nestejnoměrnosti pro každou metodu, pro přízi č. 2 bylo navíc získáno 10 autokorelačních funkcí od každé metody vypočtených na základě měření s odlišnou testovací rychlostí. Z 10 měření pro každý typ příze a metodu byla stanovena průměrná autokorelační funkce jako střední hodnota v každém bodě autokorelační funkce, výběrová směrodatná odchylka a 95% – ní interval spolehlivosti střední hodnoty v každém bodě autokorelační funkce. Výpočty byly prováděny v softwaru Matlab 6.5.

Střední hodnotu b -tého bodu autokorelační funkce $\overline{X_b}$ vypočítáme:

$$\overline{X_b} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{bi}; \quad b = I, K, D, \quad (64)$$

kde:

X_{bi} hodnota korelačního koeficientu b -tého bodu i -té autokorelační funkce,

N počet měření,

D počet kroků.

Výběrovou směrodatnou odchylku b -tého bodu autokorelační funkce s_b určíme podle vztahu:

$$s_b = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_{bi} - \overline{X_b})^2}; \quad b = I, K, D. \quad (65)$$

95%-ní interval spolehlivosti střední hodnoty b -tého bodu autokorelační funkce určíme:

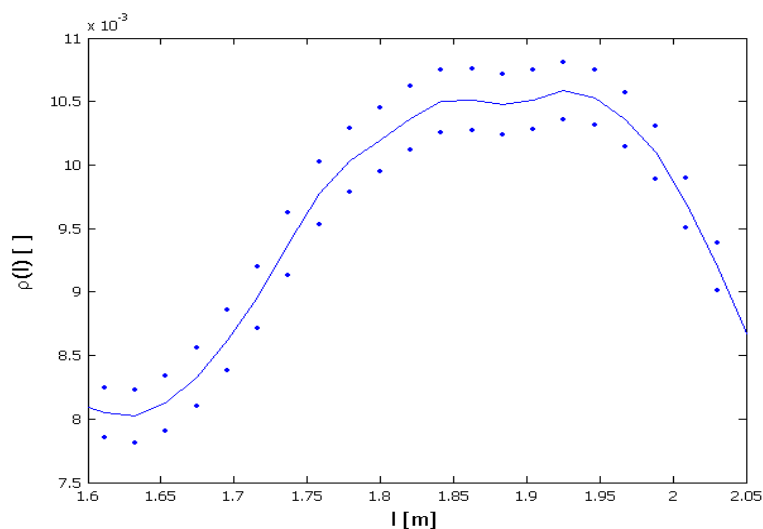
$$\left\langle \overline{X_b} - t_{0,975}(N-1) \cdot \frac{s_b}{\sqrt{N}}; \overline{X_b} + t_{0,975}(N-1) \cdot \frac{s_b}{\sqrt{N}} \right\rangle; \quad b = I, K, D, \quad (66)$$

kde:

$t_{0,975}(N-1)$ kritická hodnota Studentova rozdělení s $(N-1)$ stupni volnosti,

$$t_{0,975}(9) = 2,2622.$$

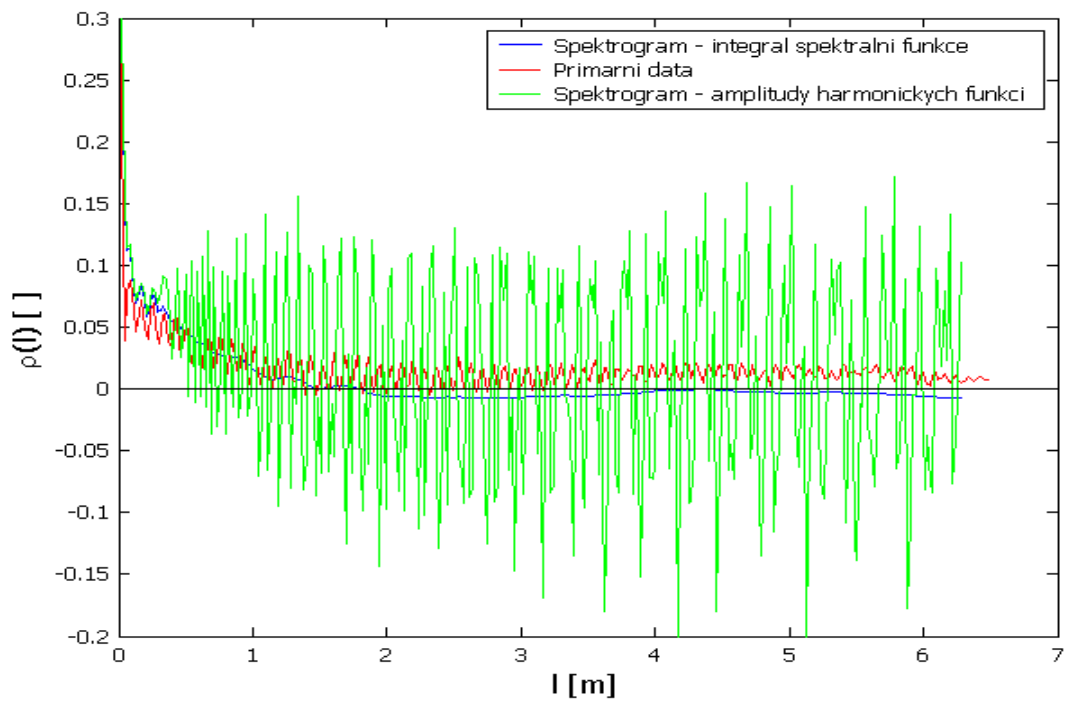
Souhrnné výsledky statistického vyhodnocení autokorelační funkce pro každý typ příze zpracované uvedenými třemi metodami jsou na přiloženém CD ROM. Ukázka střední autokorelační funkce ze SPG (jako integrálu spojité spektrální funkce) a intervalu spolehlivosti příze č. 5 je v grafu 1. Protože je interval spolehlivosti velice úzký, do grafu bylo vyneseno pouze několik bodů hodnot autokorelační funkce, aby byl rozdíl patrný. Střední autokorelační funkce je vyznačena plnou čarou, horní a dolní mez intervalu spolehlivosti tečkovaně.



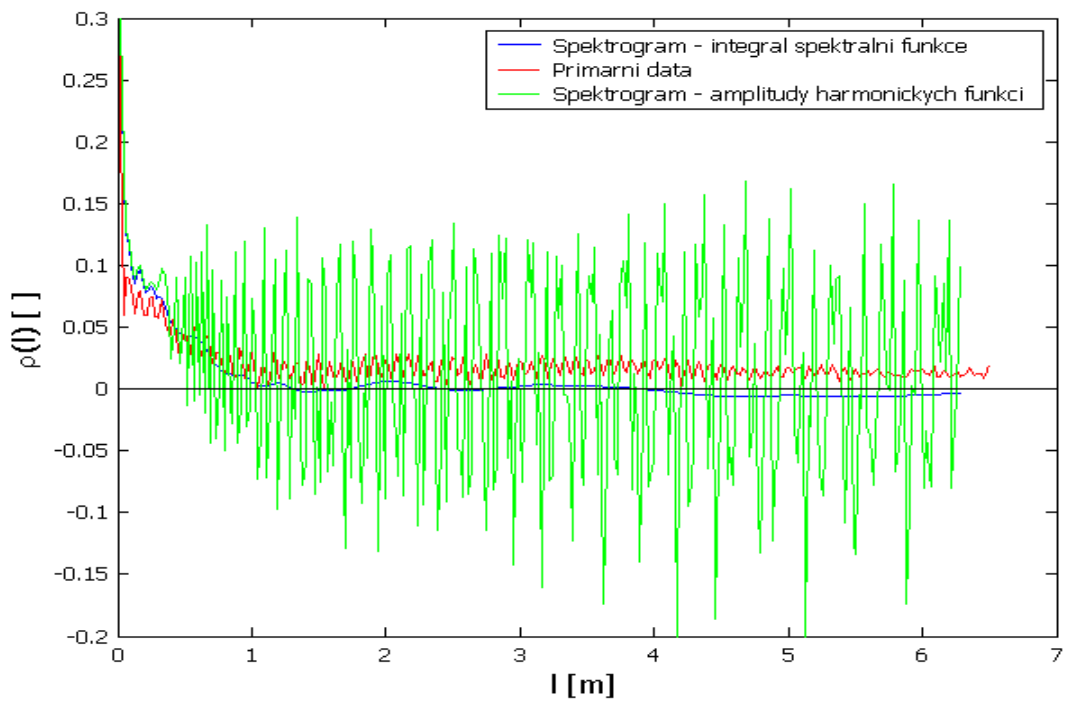
Graf 1: Detail střední autokorelační funkce ze spektrogramu (jako integrálu spojité spektrální funkce) a intervalu spolehlivosti příze č. 5.

Pro každý typ příze byly průměrné autokorelační funkce všech tří metod vypočtené z měření s testovací rychlostí 400 m.min^{-1} vyneseny společně do jednoho grafu (grafy 2 – 7). Autokorelační funkce ze SPG, kde byly výšky sloupců uvažovány jako amplitudy harmonických funkcí, je vyznačena zelenou barvou. Autokorelační funkce ze SPG pro výšky sloupců jako integrál spektrální funkce je znázorněna modrou barvou. Červeně je zakreslena autokorelační funkce z primárních dat.

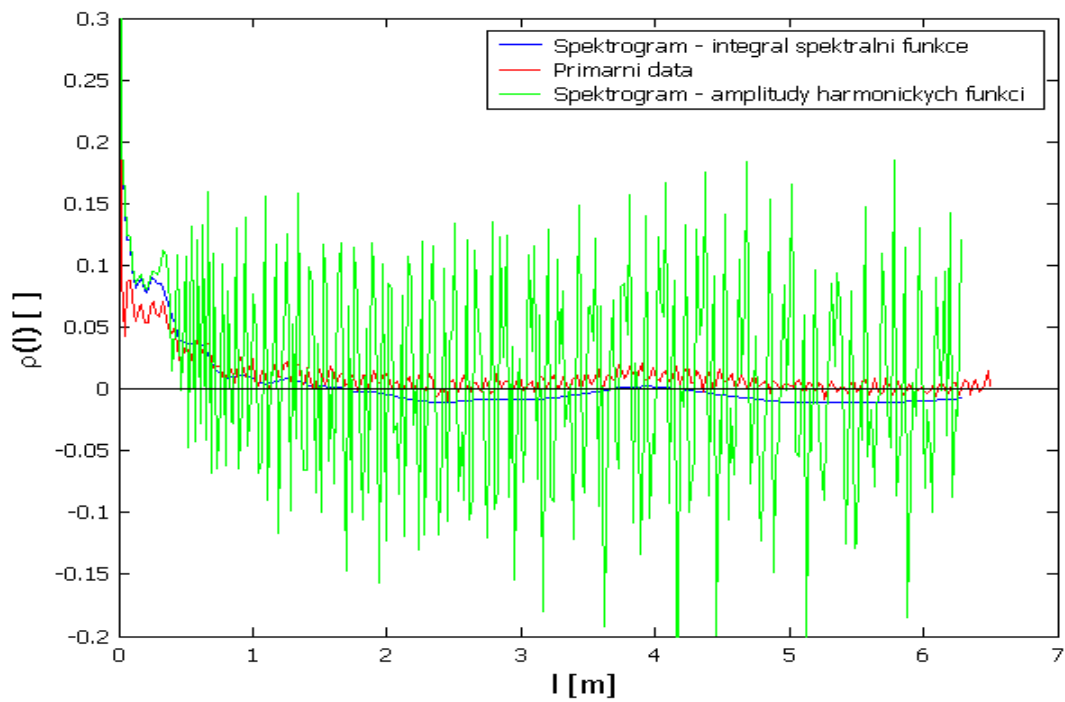
Pro posouzení vlivu rychlosti průchodu materiálu mezi deskami kondenzátoru na průběh autokorelační funkce byly autokorelační funkce z primárních dat a ze SPG jako integrálu spojité spektrální funkce příze č. 2 pro testovací rychlosti 400 m.min^{-1} a 200 m.min^{-1} vyneseny do jednoho grafu (graf 8).



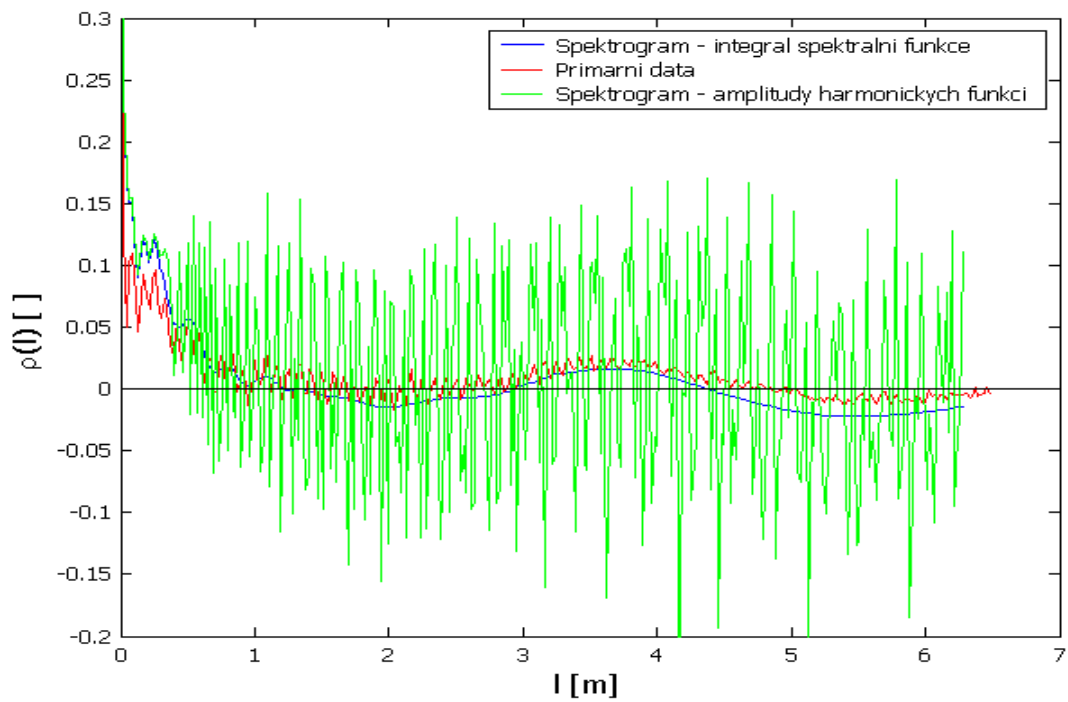
Graf 2: Srovnání metod pro výpočet autokorelační funkce pro přízi č. 1.



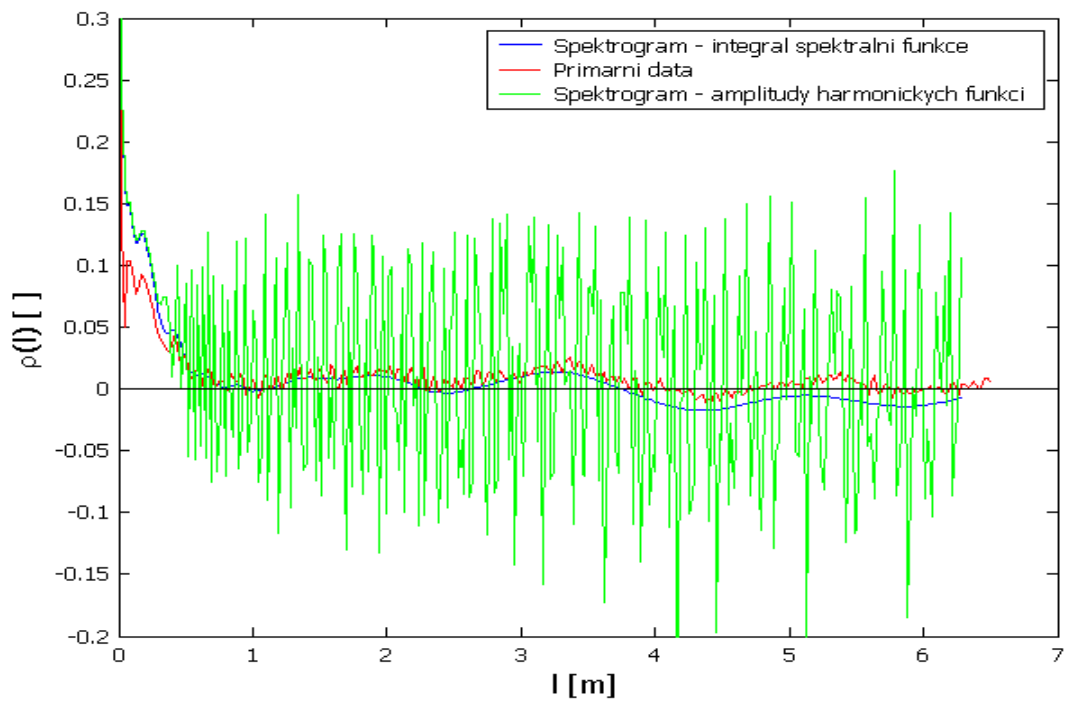
Graf 3: Srovnání metod pro výpočet autokorelační funkce pro přízi č. 2.



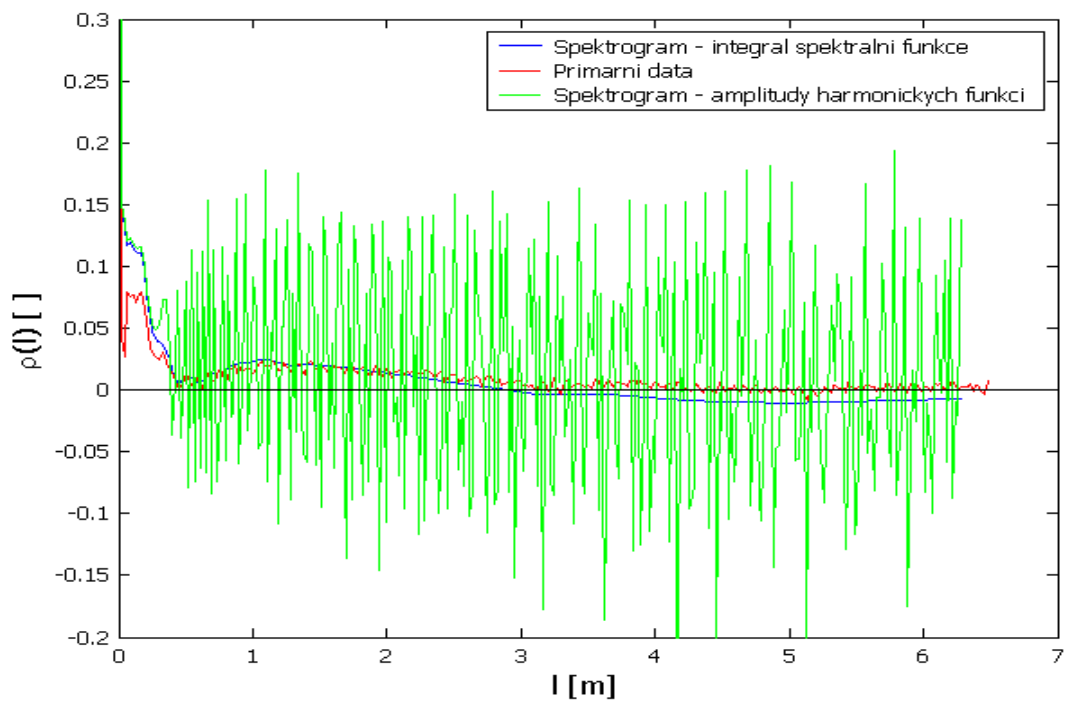
Graf 4: Srovnání metod pro výpočet autokorelační funkce pro přízi č. 3.



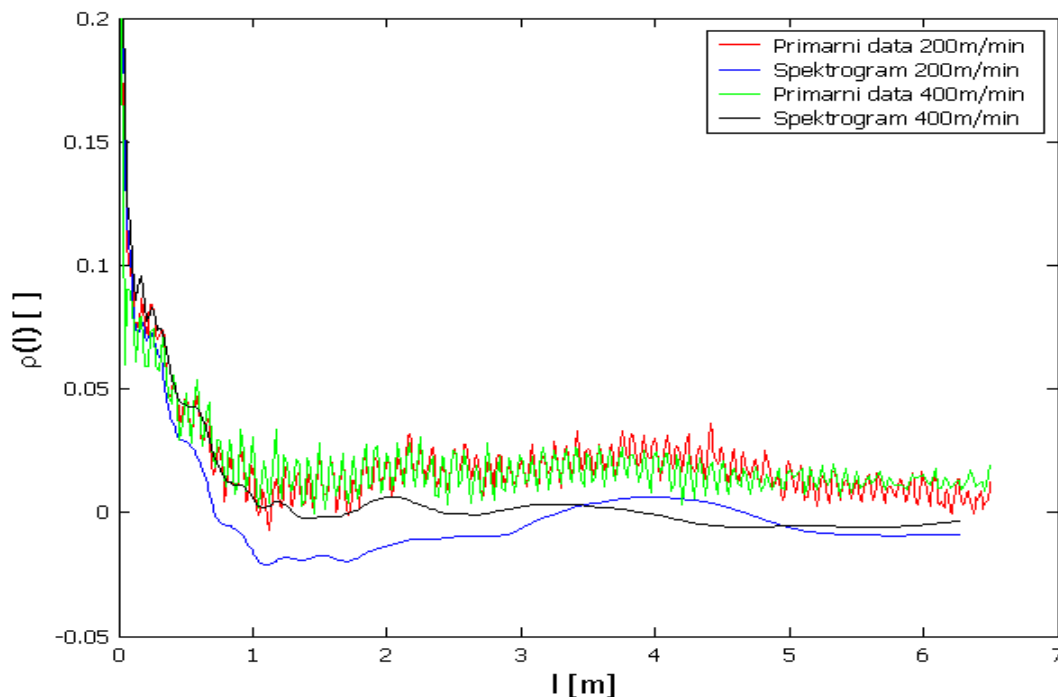
Graf 5: Srovnání metod pro výpočet autokorelační funkce pro přízi č. 4.



Graf 6: Srovnání metod pro výpočet autokorelační funkce pro přízi č. 5.



Graf 7: Srovnání metod pro výpočet autokorelační funkce pro přízi č. 6.



Graf 8: Autokorelační funkce z primárních dat a spektrogramu jako integrálu spektrální funkce pro přízi č. 2 při různých testovacích rychlostech.

7.4. Diskuse výsledků

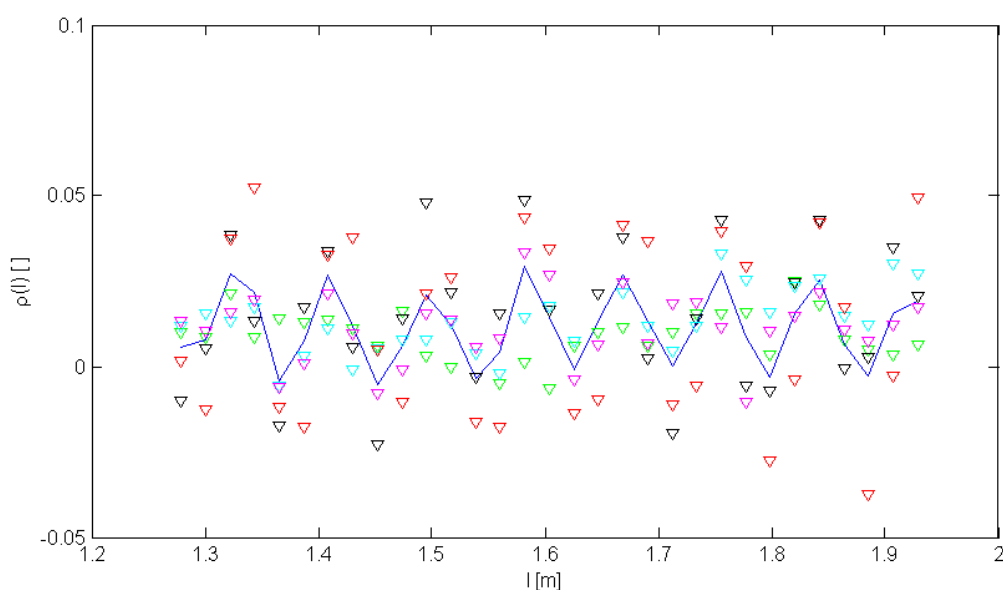
U všech 6 vzorků přízí autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti rychle klesá k nule již na krátkých délkách. Stejný trend byl zaznamenán u všech tří použitých metod.

Autokorelační funkce vypočtená ze spektrogramu, kde výšky sloupců uvažujeme jako amplitudy harmonických funkcí Fourierova rozvoje, má výrazně rozkmitaný průběh (v grafech 2 – 7 zelenou barvou). Takovýto průběh autokorelační funkce je fyzikálně nepravděpodobný. Použitý způsob výpočtu tedy zřejmě není dostatečně přesný. Ve firemní literatuře firmy Zellweger Uster [9] se uvádí, že amplitudy jednotlivých harmonických složek jsou úměrné výškám sloupců spektrogramu. Z autokorelační funkce vypočtené na základě tohoto předpokladu je zřejmé, že toto vyjádření není dostatečně přesné a je proto třeba provést korekci výpočtu.

Uvažujeme-li alternativně spektrogram jako odmocninu dílčích integrálů spojitě spektrální funkce podle [14], získaná autokorelační funkce je vyhlazením původně rozkmitaného průběhu (v grafech 2 - 7 modrou barvou). Tento algoritmus můžeme tedy považovat za zpřesnění metody výpočtu autokorelační funkce ze spektrogramu.

Autokorelační funkce vypočtená na základě primárních dat vykazuje v celém rozsahu sledované délky jistý periodicky se opakující vliv (v grafech 2 - 7 červenou barvou).

Vlnová délka zmíněného kmitání je přibližně 9 cm, nejedná se tedy o technologickou periodicitu. Kmitání také není náhodné, neboť se se stejnou vlnovou délkou vyskytuje u všech vzorků přízí, a to i po vypočtení průměrné autokorelační funkce příze. Detail části grafu autokorelační funkce jednotlivých potáčů a střední autokorelační funkce příze č. 1 ukazuje graf 9. Z grafu je zřejmé, že kmitání se vyskytuje již na autokorelačních funkcích jednotlivých potáčů a po vypočtení průměrné autokorelační funkce zůstává zachováno.



Graf 9: Detail autokorelační funkce z primárních dat příze č. 1 s vnesenými hodnotami autokorelační funkce jednotlivých potáčů.

Kmitání průběhu autokorelační funkce z primárních dat pravděpodobně souvisí se způsobem vytvoření souboru primárních dat přístrojem Uster Tester 4, který není blíže znám. Vlnová délka síťového napětí při testovací rychlosti $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ odpovídá přibližně 13 cm, což je hodnota blízká vlnové délce kmitání autokorelační funkce z primárních dat. Zajímavá je také závislost této poruchy na jemnosti příze. U jemnějších přízí je amplituda kmitů větší než u hrubších, vlnové délky však zůstávají přibližně stejné. V každém případě je popisované kmitání nutno přiřknout na vrub práce přístroje.

Když pomineme mírné kmitání autokorelační funkce z primárních dat, tvarově je shodná s autokorelační funkcí ze spektrogramu (jako integrálu spektrální funkce). Stejné trendy jsou dobře viditelné zejména u přízí č. 4 a 5 (grafy 5 a 6), jejichž autokorelační funkce poukazují na přítomnost harmonické složky. Tak je ukázáno, že obě metody výpočtu poskytují v podstatě stejné výsledky.

Při podrobnějším rozboru průběhu obou křivek má autokorelační funkce z primárních dat tendenci nabývat nepatrně vyšších hodnot než autokorelační funkce ze spektrogramu. Rozdíl se projevuje na delších úsecích příze a není zpravidla větší než 0,01. Příčina této odchylky není známa, ale zřejmě opět souvisí s vytvářením souboru primárních dat. Podle literatury firmy Zellweger Uster [10] jsou prvotní hodnoty indikované přístrojem ukládány do souboru s kapacitou až 40 tisíc hodnot. Z nich je pak získáno 18458 primárních dat blíže nepopsaným způsobem. Rozdíl mezi autokorelační funkcí z primárních dat a ze spektrogramu pak může být způsoben tím, že spektrogram je přístrojem vyhodnocován přímo z prvotních hodnot naměřených přístrojem, zatímco autokorelační funkci z primárních dat počítáme na základě hodnot, které byly určitým způsobem upraveny.

Při použití odlišné testovací rychlosti (200 m.min^{-1}) vykazuje autokorelační funkce z primárních dat i ze spektrogramu pro přízi č. 2 srovnatelný průběh s příslušnými autokorelačními funkcemi zjištěnými při testovací rychlosti 400 m.min^{-1} (graf 8). Odchylka mezi autokorelační funkcí z primárních dat a ze spektrogramu se objevuje i při testovací rychlosti 200 m.min^{-1} , její velikost na testovací rychlosti patrně nezávisí. Průběh podobný autokorelační funkci z primárních dat pozorovali také Aminuddin a Riddle [18]. Autokorelační funkce určená autory z elektrického signálu přístroje Uster Tester 2 již na délce několika centimetrů rychle klesá, ustaluje se však na nenulové hodnotě (přibližně 0,1).

Autokorelační funkce ze spektrogramu (jako integrál spojitě spektrální funkce) u přízí, na nichž se neprojevuje výrazná harmonická složka (grafy 2 a 3), se na větších délkách ustaluje na nule. Takovýto průběh autokorelační funkce je velmi pravděpodobný. Vyšší korelace na delších úsecích je fyzikálně neopodstatněná. Zdá se, že výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu je správný, zatímco primární data neposkytují dostatečně přesné výsledky.

Pomineme-li harmonické trendy, na úsecích příze delších než přibližně 1 m je korelace prakticky nulová. Na úsecích kratších než 0,5 m vykazuje autokorelační funkce sice nevelké, ale od nuly významně odlišné kladné hodnoty. To je způsobeno tím, že i velmi krátké silnější místo pramene nebo přástu se na přízi vlivem průtahu projeví na délce několika desítek centimetrů až metrů.

8. Shrnutí a závěr

Autokorelační funkci hmotné nestejnoměrnosti příze lze vyjadřovat na základě měření hmotné nestejnoměrnosti pomocí přístroje Uster Tester. Přístroj běžně poskytuje výsledky formou spektrogramu, který může být východiskem pro určení autokorelační funkce. Měřicí zařízení Uster Tester 4 navíc umožňuje získat soubor primárních dat, která mohou být rovněž použita k vyhodnocení autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze.

Autokorelační funkce byla zjišťována na základě měření hmotné nestejnoměrnosti přístrojem Uster Tester 4 pro soubor bavlněných prstencových přízí o různých jemnostech firmy Seba Tanvald.

Zpracováním dat ze spektrogramu, kdy uvažujeme výšky sloupců jako amplitudy harmonických funkcí Fourierova rozvoje, získáme výrazně rozkmitaný průběh autokorelační funkce. Jeho vyhlazením je autokorelační funkce ze spektrogramu, kdy uvažujeme výšky sloupců jako odmocninu dílčích integrálů spojitě spektrální funkce. Toto výpočetní zpracování můžeme tedy považovat za dostatečně přesné a lze je použít k vyjadřování autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze.

Užitím primárních dat kolísání hmotnosti po délce příze k výpočtu autokorelační funkce získáme křivku s mírným kmitáním, které je pravděpodobně zapříčiněno způsobem vytvoření souboru primárních dat samotným přístrojem.

Oba postupy vyhodnocení autokorelační funkce poskytují v podstatě shodné výsledky. Nepatrné rozdíly mezi hodnotami korelace na větších délkách příze zřejmě souvisí s odlišnostmi při zpracování prvotních dat přístrojem Uster Tester 4.

K vyjádření autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze lze tedy použít jak primárních dat kolísání hmotnosti po délce příze, tak hodnot experimentálně odečtených ze spektrogramu. To umožňuje určovat autokorelační funkci hmotné nestejnoměrnosti příze i u starších typů přístroje, kde nejsou primární data k dispozici.

Autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze již na malých délkách příze rychle klesá k nule. Na délkách větších než přibližně 1 m jsou hodnoty hmotné nestejnoměrnosti prakticky nekorelované. Vyšší míra lineární závislosti hodnot se objevuje na délkách menších než přibližně 0,5 m. Nestejnoměrnost přádelnických poloproduktů (pramenů, přástů) se tak na přízi projeví maximálně do délky 1 m.

Literatura

- [1] Ursíny, P.: Teorie předení I. Technická univerzita v Liberci, 1992.
- [2] Neckář, B. – Ibrahim, S.: Structural Theory of Fibrous Assemblies and Yarns. Part 1: Structure of Fibrous Assemblies. Technická univerzita v Liberci, 2003.
- [3] Townsend, M. W. – Cox, D. R.: The Analysis of Yarn Irregularity. Journal of the Textile Institute, 42, 1951, s. P107 – P113.
- [4] Cox, D. R. – Townsend, M. W.: The Use of Correlograms for Measuring Yarn Irregularity. Journal of the Textile Institute, 42, 1951, s. P145 – P151.
- [5] Militký, J.: Hmotná nestejnomyernost a její měření. In: Praktické postupy spracovania údajov o hmotnej nerovnomernosti v pradiarňach. Dom techniky ČSVTS Žilina, 1987. Sborník, s. 5 – 13.
- [6] Firemní literatura firmy Premier. Dostupné na World Wide Web: <http://www.premier-1.com>.
- [7] Firemní literatura firmy Loepfe Brothers. Dostupné na World Wide Web: <http://www.loepfe.com>.
- [8] Firemní literatura firmy Zweigle. Dostupné na World Wide Web: <http://www.zweigle.com/>.
- [9] Uster Tester 4. Aplikační školení. Firemní literatura firmy Zellweger Uster, překlad, 2000.
- [10] Technická dokumentace k přístroji Uster Tester 4 - SX. Firemní literatura firmy Zellweger Uster.
Dostupné na World Wide Web: http://www.uster.com/en/index_1.asp
- [11] Uster Gleichmässigkeitsprüfung. Anwendungshandbuch. Firemní literatura firmy Zellweger Uster, Schweiz, 1981.
- [12] Zelinková, K.: Autokorelační funkce pevnosti a hmotné nestejnomyernosti. In: STRUTEX 2000, sborník, s. 113 - 120.
- [13] Lizák, P.: Autokorelačná funkcia hmotnej nerovnomernosti pevnosti priadze. In: STRUTEX 1999, sborník, s. 73 - 78.
- [14] Neckář, B.: Autokorelační funkce hmotné nestejnomyernosti příze. In: STRUTEX 2001, sborník, s. 39 - 48.
- [15] Rektorys, K.: Přehled užití matematiky II. Prometheus Praha, 1995.
- [16] Hátle, J. – Kahounová, J.: Úvod do teorie pravděpodobnosti. SNTL Praha, 1987.

- [17] Meloun, M. – Militký, J.: Statistické zpracování experimentálních dat. Plus Praha, 1994.
- [18] Aminuddin, N. – Riddle, E.: Comparison Between Zellweger Uster Tester II and Micro Sensor Inc.'s On-line Density Tester. Cotton Incorporated, 1999.
Dostupné na World Wide Web:
<http://www.cottoninc.com/efsnew/99ForumNAminuddin.pdf>.
- [19] Dokumentace programu MATLAB 6.5 firmy The MathWorks, Inc. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.mathworks.com>.

Přehled použitých symbolů a zkratek

Symbols:

a_k	amplituda k -té harmonické funkce
$B_k, \overline{B_k}$	komplexně sdružená čísla
$B(L)$	gradient vnější nestejnoměrnosti
c	konstanta měřicího zařízení Uster Tester
$CB(L)$	vnější kvadratická nestejnoměrnost
$\text{cov}(X, Y)$	kovariance náhodných veličin X a Y
$\text{cov}_f(l)$	kovarianční funkce hmotné nestejnoměrnosti příze
CV	střední kvadratická nestejnoměrnost
CV_{ef}	efektivní kvadratická nestejnoměrnost (skutečná naměřená hodnota)
$CV(L)$	vnitřní kvadratická nestejnoměrnost
CV_{lim}	limitní kvadratická nestejnoměrnost
d	vzdálenost dvou sousedních míst na přízi, ve kterých byla měřena hmotná nestejnoměrnost
D	počet kroků použitých pro výpočet autokorelační funkce
f	frekvence harmonické funkce
\overline{f}	střední hodnota náhodné funkce kolísání hmotnosti příze
$\overline{f_x}$	střední hodnota náhodné funkce kolísání hmotnosti příze podél délkové souřadnice x
$f(x)$	náhodná funkce kolísání hmotnosti příze podél délkové souřadnice x
$\overline{f_y}$	střední hodnota náhodné funkce kolísání hmotnosti příze podél délkové souřadnice y
$f(y)$	náhodná funkce kolísání hmotnosti příze podél délkové souřadnice y
h	délka integrovaného úseku v definici kovarianční funkce
$H(\omega_k)$	pomocná proměnná při odvození autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze
i	imaginární jednotka (ve vztazích, kde není indexem sumace)
I	index nestejnoměrnosti

K	konstanta měřicího zařízení Uster Tester, která vyjadřuje šířku frekvenčního pásma spektrogramu
k_k	koeficient interpolace k -té hodnoty spektrální funkce
l	délka (argument kovarianční a autokorelační funkce)
L	délka integrovaného úseku při výpočtu střední kvadratické a lineární nestejnoměrnosti
L_C	celková proměřená délka příze přístrojem Uster Tester
\overline{m}	střední hodnota hmoty délkového úseku příze
$m(l)$	okamžitá hodnota hmoty délkového úseku příze
M	počet sloupců ve spektrogramu
n	střední počet vláken v průřezu přádelnického produktu
N	celkový počet měření (počet hodnot v souboru primárních dat)
p	plocha vyjadřující odchylku od střední hodnoty při odvozování střední lineární nestejnoměrnosti
P	celková plocha při odvozování střední lineární nestejnoměrnosti
Q	souhrnná konstanta měřicího zařízení Uster Tester
q_k	koeficient interpolace k -té hodnoty spektrální funkce
s_b	výběrová směrodatná odchylka b -tého bodu autokorelační funkce
$S(\omega)$	spektrální funkce
$S(\omega_k)$	spektrální funkce v místě $\omega = \omega_k$
$\overline{S}(\omega_k)$	střední hodnota spektrální funkce
$t_{0,975}(N-1)$	kritická hodnota Studentova rozdělení s $(N-1)$ stupni volnosti
U	střední lineární nestejnoměrnost
U_{ef}	efektivní lineární nestejnoměrnost (skutečná naměřená hodnota)
U_{lim}	limitní lineární kvadratická nestejnoměrnost
v	rychlost průchodu materiálu mezi deskami kondenzátoru na přístroji Uster Tester
v_d	variační koeficient průměru vlákna
v_p	variační koeficient průřezu vlákna
x	délková souřadnice

X	náhodná veličina (kolísání hmotnosti po délce příze)
\overline{X}	střední hodnota náhodné veličiny X
\overline{X}_b	střední hodnota b -tého bodu autokorelační funkce
X_{bi}	hodnota korelačního koeficientu b -tého bodu i -té autokorelační funkce
X_i	i -tá hodnota náhodné veličiny X
$\overline{x}(n)$	střední hodnota počtu vláken v příčném řezu přádelnického produktu
Y	náhodná veličina (kolísání hmotnosti po délce příze)
\overline{Y}	střední hodnota náhodné veličiny Y
Y_i	i -tá hodnota náhodné veličiny Y
V	obecná vlastnost (použitá pro vysvětlení principu výpočtu autokorelační funkce z primárních dat kolísání nestejnoměrnosti)
v_k	k -tá výška sloupce spektrogramu
$V(L)$	gradient vnitřní nestejnoměrnosti
$V(\infty)$	hodnota gradientu vnitřní nestejnoměrnosti na délce $L \rightarrow \infty$.
Z	libovolná konstanta (použitá při odvození nezávislosti korelačního koeficientu na měřítku)
$\alpha(\omega)$	amplituda harmonické funkce
$\Delta H(\omega_k)$	pomocná proměnná při odvození autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze
$\Delta \omega_k$	rozdíl dvou sousedních hodnot frekvencí
δ_k	fázový posun k -té harmonické funkce
λ	vlnová délka harmonické funkce
$\lambda_{1/5}$	vlnová délka spektrogramu o hodnotě 1/5 z celkové proměřené délky příze
$\lambda_{1/20}$	vlnová délka spektrogramu o hodnotě 1/20 z celkové proměřené délky příze
λ_j	j -tá vlnová délka spektrogramu
λ_M	největší vlnová délka spektrogramu
λ_s	vlnová délka příslušející s -tému sloupci spektrogramu
$\rho_f(l)$	autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze

$\rho(l)$	korelační koeficient délkové hmotnosti příze mezi body vzdálenými o l
$\rho(X, Y)$	korelační koeficient náhodných veličin X a Y
σ_f^2	rozptyl náhodné funkce kolísání hmotnosti příze
$\sigma^2(n)$	rozptyl počtu vláken v příčném řezu přádelnického produktu
σ_X^2	rozptyl náhodné veličiny X
σ_Y^2	rozptyl náhodné veličiny Y
ω_j	frekvence j -tého sloupce spektrogramu
ω_k	frekvence k -té harmonické funkce (k -tého sloupce spektrogramu)
$\omega_{k,dol}$	dolní mez intervalu okolí k -té frekvence
$\omega_{k,hor}$	horní mez intervalu okolí k -té frekvence

Zkratky:

č.	číslo
kap.	kapitola
obr.	obrázek
SPG	spektrogram
tab.	tabulka
UT4	Uster Tester 4

Seznam příloh

- | | |
|-----------|--|
| Příloha 1 | Veličiny měřené přístrojem Uster Tester 4 |
| Příloha 2 | Výpočetní program „Korfu_prim_data“ pro výpočet autokorelační funkce z primárních dat kolísání hmoty příze |
| Příloha 3 | Výpočetní programy „Korfu_sloupce_disk“ a „Vlnelky“ pro výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu hmoty příze |
| Příloha 4 | Výpočetní program „Korfu_sloupce_spoj“ pro výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu hmoty příze |
| Příloha 5 | Převod dat ze spektrogramu přístroje Uster Tester do digitální podoby |
| Příloha 6 | Reporty z přístroje Uster Tester 4-SX |

1. PŘÍLOHA 1

Veličiny měřené přístrojem Uster Tester 4

Základní veličiny:

Nr

Číslo vzorku.

U% [%]

Střední lineární nestejnomyěrnost hmoty na normální střižní délce (krátkých úsecích).

U inert [%]

Střední lineární nestejnomyěrnost hmoty dlouhých úseků na střižní délce, která závisí na testovací rychlosti.

U hi [%]

Poloviční inert hodnota (half inert): střední lineární nestejnomyěrnost hmoty na středních úsecích na střižní délce, která závisí na testovací rychlosti.

CVm [%]

Střední kvadratická nestejnomyěrnost hmoty na normální střižní délce (krátkých úsecích). Pro odlišení od jiných typů variačních koeficientů značí firma Zellweger Uster hmotnou nestejnomyěrnost *CVm*.

CVm 1m...100m [%]

Střední kvadratická nestejnomyěrnost na střižní délce 1m, 3m, 10m, 50m a 100m.

CVm inert [%]

Střední kvadratická nestejnomyěrnost na dlouhých úsecích, střižní délka závisí na testovací rychlosti.

CVm hi [%]

Poloviční inert hodnota: střední kvadratická nestejnomyěrnost hmoty na středních úsecích, střižní délka závisí na testovací rychlosti.

Index []

Index nestejnomyěrnosti jako podíl naměřené hodnoty střední kvadratické nestejnomyěrnosti *CVm* a limitní kvadratické nestejnomyěrnosti.

DR 1.5m 5% [%]

Míra odchylky (Deviation Rate) udává poměr, v jakém je překračována určitá procentuální odchylka hmoty.

Thin -30%...-60% [km⁻¹]

Počet tenkých míst na délku 1km. Tenké místo se započítá, jestliže hodnota snížení hmotnosti překročí určitou procentuální odchylku od střední hodnoty.

Thick +35%...+100% [km⁻¹]

Počet silných míst na délku 1km. Silné místo se započítá, jestliže hodnota zvýšení hmotnosti překročí určitou procentuální odchylku od střední hodnoty.

Neps +140%...+400% [km⁻¹]

Počet nopků na délku 1km. Nopky se započítá, jestliže hodnota snížení nebo zvýšení hmotnosti překročí určitou procentuální odchylku od střední hodnoty.

mMax / mMin 1m...10m [%]

Procentuální odchylka nejtěžšího / nejlehčího úseku o délce 1, 3 nebo 10m vzhledem k průměrné hodnotě.

Count (...)m

Číslo příze (jemnost) zjištěné vážením určité délky testovaného materiálu. Pro příze je standardní délka 100m. Možnost volby jednotek jemnosti (např. ktex, tex, dtex, den, Nm).

Rel. Cnt \pm [%]

Relativní číslo příze (jemnost) je procentuální odchylka hmoty od průměrné hodnoty na délce 100m.

Rel. Cn length (...)m [%]

Relativní číslo příze (jemnost) s možností volby jiné délky než 100m.

H []

Chlupatost je celková délka všech vyčnívajících vláken, která jsou měřena na délce 1cm.

sh []

Standardní odchylka chlupatosti je zjišťována z variace chlupatosti na střižní délce 1cm.

sh 1m... 100m []

Standardní odchylka chlupatosti na střižní délce 1, 3, 10, 50 a 100m.

Hmax / Hmin 1m... 10m []

Maximální / minimální hodnota chlupatosti na úsecích o délce 1, 3 a 10m.

Statistické zpracování výsledků – základní údaje:

Mean

Střední hodnota (aritmetický průměr) všech dílčích měření.

CV

Variační koeficient mezi jednotlivými měřeními.

Q95

95%-ní interval spolehlivosti ze všech měření.

Max / Min

Maximální / minimální hodnoty z jednotlivých měření.

Statistické zpracování výsledků – doplňkové údaje:

USP

Procento Uster Statistics je procento, do kterého spadá střední hodnota ze všech měření v grafech Uster Statistics.

Standardní odchylka (s \pm)

Směrodatná odchylka mezi jednotlivými měřeními.

Median

Medián mezi jednotlivými měřeními (prostřední hodnota u setříděných dat.)

2.PŘÍLOHA 2

Výpočetní program „Korfu_prim_data“

pro výpočet autokorelační funkce z primárních dat kolísání hmotnosti příze

Popis programu

Program „Korfu_prim_data“ slouží k výpočtu autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze z primárních dat kolísání hmotnosti po délce příze přístroje Uster Tester 4. Spustíme jej příkazem Korfu_prim_data.

Program vyžaduje zadání názvu vstupního souboru dat včetně přípony. Vstupní soubor je textový soubor, v němž jsou zpracovávána data uložena jako sloupcový vektor. Pokud používáme přímo soubor primárních dat získaný z přístroje Uster Tester 4, je třeba u něj odstranit hlavičku.

Dále je třeba programu zadat výpočetní krok, který vyčteme z hlavičky souboru primárních dat jako hodnotu dX , a počet kroků pro výpočet, který udává, v kolika bodech se bude výpočet provádět.

Data jsou programem zpracována do autokorelační funkce. Výsledky jsou tvořeny dvěma sloupci hodnot. V prvním sloupci jsou zaznamenány délky, ve druhém korelační koeficienty na daných délkách. K matici výsledků je přidán první řádek s hodnotami [0, 1], neboť autokorelační funkce je na délce 0 vždy rovna 1. Výsledná matice hodnot je automaticky uložena do textového souboru pod názvem *_vys_prim.txt (* značí původní název souboru bez přípony). Autokorelační funkce je vynesena do grafu.

Program „Korfu_prim_data“

```
f=input('Zadej jmeno vstupniho souboru vctne pripony:','s'); %pod promennou f
ulozi nami zadany nazev souboru jako string
d=input('Zadej krok [m]:'); %pod d ulozi krok jako cislo
D=input('Zadej pocet kroku pro vypocet:'); %pod D ulozi pocet kroku jako cislo
a=findstr(f,'. '); %najde ve stringu (ulozenem pod promennou f) tecku
b=strcat(f(1,1:a-1),'_vys_prim.txt'); %ze stringu f vezme podstring pred
teckou a prida k nemu _vys_prim.txt
primdata=(load(f)); %nacteni primarnich dat ze souboru

ro=[]; %vektor pro registraci hodnot korelacnich koeficientu

for L=1:D
    L %vypise hodnotu L na obrazovku (pro kontrolu, ze vypocet probiha)
    x=primdata(1,1:length(primdata)-L); %vektor x-ovych hodnot pro L-ty krok
    y=primdata(1,(1+L):length(primdata)); %vektor y-ovych hodnot pro L-ty
    krok
    jed=ones(length(x),1); %vektor jednicek
    strx=x*jed/length(x); %stredni hodnota x
    stry=y*jed/length(x); %stredni hodnota y
    strxy=x.*y;
    sigmax=(x-strx).^2;
    sigmay=(y-stry).^2;
    jed=ones(length(x),1); %vektor jednicek
    strxy=strxy*jed/length(x); %stredni hodnota x*y
    sigmax1=sigmax*jed/length(x); %rozptyl x
    sigmay1=sigmay*jed/length(x); %rozptyl y
    cov=strxy-strx*stry; %kovariance
```

```

        ro=[ro,cov/(sqrt(sigma_x1*sigma_y1))]; %korelacni koeficient
end;

xx=0:d:D*d; %x-ove hodnoty pro graf
ro=[1,ro]; %y-ove hodnoty pro graf

plot(xx,ro,'r') %vykresli graf
xlabel('l [m]'); %popis x-ove osy
ylabel('\rho(l) [ ]'); %popis y-ove osy

vys=[xx',ro']; %zapise hodnoty korelacnich koeficientu do jedne matice
o velikosti (počet kroku+1)x 2 s prislusnymi x-ovymi hodnotami
save(b,'vys','-ascii'); %ulozi promennou vys do textoveho souboru
*_vys_prim.txt (* znaci nazev vstupniho souboru bez pripony)

```

3.PŘÍLOHA 3

Výpočetní programy „Korfu_sloupce_disk“ a „Vlnelky“ pro výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu hmoty příze

Popis programu „Korfu_sloupce_disk“

Program „Korfu_sloupce_disk“ slouží k výpočtu autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze ze spektrogramu přístroje Uster Tester. Výšky sloupců spektrogramu jsou uvažovány jako amplitudy harmonických funkcí Fourierova rozvoje. Program spustíme příkazem Korfu_sloupce_disk.

Program vyžaduje zadání názvu vstupního souboru dat včetně přípony. Vstupní soubor je textový soubor, v němž jsou zpracovávána data uložena jako sloupcový vektor.

Dále je třeba programu zadat celkovou proměřenou délku příze a počet kroků pro výpočet, který udává, v kolika bodech se bude výpočet provádět.

Data jsou programem zpracována do autokorelační funkce. Výsledky jsou tvořeny dvěma sloupci hodnot. V prvním sloupci jsou zaznamenány délky, ve druhém korelační koeficienty na daných délkách. K matici výsledků je přidán první řádek s hodnotami [0, 1], neboť autokorelační funkce je na délce 0 vždy rovna 1. Výsledná matice hodnot je automaticky uložena do textového souboru pod názvem *_vys_disk.txt (* značí původní název souboru bez přípony). Autokorelační funkce je vynesena do grafu.

Součástí programu je skript „Vlnelky“, který je spouštěn automaticky.

Popis programu „Vlnelky“

Program „Vlnelky“ slouží k výpočtu vlnových délek, se kterými pracuje přístroj Uster Tester a které budou použity při výpočtu autokorelační funkce.

Pro každý typ přístroje Uster Tester je výpočet odlišný, program proto vyžaduje upřesňující informace. Nejprve je třeba zadat typ přístroje (Uster Tester 4 nebo jiný).

Výpočet vlnových délek je možné provádět na základě znalosti přesné hodnoty jedné vlnové délky, která se zpravidla určí jako $1/20$ z celkové proměřené délky příze. U přístroje Uster Tester 4 lze vlnové délky počítat na základě hodnoty $1/5$ z celkové proměřené délky příze. Toho lze s výhodou využít v případech, kdy má poslední sloupec spektrogramu vlnovou délku rovnu právě $1/5$ z celkové proměřené délky příze.

Pokud počítáme autokorelační funkci z dat přístroje Uster Tester 4, program se zeptá, jestli chceme počítat vlnové délky na základě posledního sloupce. O tom rozhodneme vizuálním posouzením spektrogramu. Pokud je možné počítat vlnové délky na základě posledního sloupce, program výpočet dokončí automaticky. V případě, že je třeba výpočet provést na základě vlnové délky rovné $1/20$ z celkové proměřené délky příze, program vyžaduje zadání pořadí sloupce ve spektrogramu, který má tuto vlnovou délku.

U starších typů přístroje je výpočet ostatních vlnových délek vždy prováděn na základě vlnové délky odpovídající $1/20$ z celkové proměřené délky příze. Program pak vyžaduje zadání pořadí sloupce ve spektrogramu, který má tuto vlnovou délku.

Program „Korfu_sloupce_disk“

```
f=input('Zadej jmeno vstupniho souboru vcetne pripony:','s'); %pod promennou f
ulozi nami zadany nazev souboru jako string
vyska=(load(f)); %nacteni vysek sloupce do vektoru vyska
M=length(vyska); %celkovy pocet sloupce
g=input('Zadej celkovou promerenou delku prize [m]:'); %pod g ulozi celkovou
promerenou delku prize jako cislo
D=input('Zadej pocet kroku pro vypocet:'); %pod D ulozi pocet kroku jako cislo
a=findstr(f,'. '); %najde ve stringu (ulozenem pod promennou f) tecku
b=strcat(f(1,1:a-1),'_vys_disk.txt'); %ze stringu f vezme podstring pred
teckou a prida k nemu _vys_disk.txt

vlnudelky; %nacteni vlnovych delek do vektoru lambda
omega=2*pi./lambda; %prepocet vlnovych delek na frekvence
d=lambda(1,1); %krok

ro=[]; %korelacni koeficient (y-ova osa vysledku)
Lcelk=[]; %delky prize (x-ova osa vysledku)

for i=1:D %cyklus pro vypocet korelacnich koeficientu pro vsechna L
    L=i*d;
    sumah=[];
    sumad=[];

    for j=1:M %cyklus pro vypocet sumy
        k=1+M-j;
        omegak=omega(1,k); %k-ta omega
        vyskak2=vyska(1,k)^2; %druha mocnina k-te vysky
        sumahpom=vyskak2*cos(omegak*L);
        sumah=[sumah,sumahpom]; % vektor pro horni sumu
        sumad=[sumad,vyskak2]; %vektor pro dolni sumu
    end;

    jed=ones(length(sumah),1); %vektor jednicek pro secteni vektoru sumah
    sumah=sumah*jed; %suma horni
    sumad=sumad*jed; %suma dolni
    rop=sumah/sumad; %vypocet korelacniho koeficientu
    ro=[ro,rop]; %registrace hodnot vseh korelacnich koeficientu (y-ova osa
    vysledku)
    Lcelk=[Lcelk,L]; %hodnoty delek (x-ova osa vysledku)
    i %vypisuje na obrazovku aktualni stav vypoctu (index delky, se kterou
    prave pocita)
end;
```

```
ro=[1,ro];
Lcelk=[0,Lcelk];

plot(Lcelk,ro,'g'); %vykresli graf
xlabel('l [m]'); %popis x-ove osy
ylabel('\rho(l) [ ]'); %popis y-ove osy

vys=[Lcelk',ro']; %zapise hodnoty korelacnich koeficientu do jedne matice o
velikosti (počet kroku+1)x 2 s prislusnymi x-ovymi hodnotami

save(b,'vys','-ascii'); %ulozi promennou vys do souboru *_vys_disk.txt (*
znaci nazev vstupniho souboru bez pripony)
```

8.1.1.1. Program „Vlnelky“

```
KK=input('Zadej typ pristroje (1-Uster Tester 4; 0-ostatni typy):');

if KK==1 %vypocet pro Uster tester 4
    K=2^(1/10); %konstanta pristroje Uster Tester 4
    roz=input('Pocitat vlnove delky na zaklade posledniho sloupce?
    (1-ano; 0-ne )');

    if roz==1 %rozhodovaci podminka pro pocitani vlnove delky z posledniho
        sloupce spektrogramu
        lambdaL=g/5; %posledni vlnova delka ma velikost 1/5 z celkove
        promerene delky prize
        s=M;

        if lambdaL<1100; %v pripade, ze 1/5 z celkove promerene delky
            prize vyjde vetsi nez 1100, posledni vlnova delka bude rovna
            1100
            lambdas=lambdaL;
        else
            lambdas=1100;
        end;

    else %vypocet vlnovych delek ze sloupce spektrogramu, který odpovida
        vlnove delce o velikosti 1/20 z celkove promerene delky
        s=input('Zadej poradi sloupce, který odpovida vlnove delce o
        velikosti 1/20 z celkove promerene delky prize:');
        lambdas=g/20;
    end;

else %vypocet pro starsi typy pristroje
    K=2^(1/5); %konstanta pristroje Uster Tester - starsi typy
    s=input('Zadej poradi sloupce, který odpovida vlnove delce o velikosti
    1/20 z celkove promerene delky prize:');
    lambdas=g/20;
end;

lambda=[];

for j=1:M;
    lambdaj=lambdas*K^(j-s);
    lambda=[lambda,lambdaj]; %registrace vseh vlnovych delek
end;
```


4. PŘÍLOHA 4

Výpočetní program „Korfu_sloupce_spoj“

pro výpočet autokorelační funkce ze spektrogramu hmoty příze

Popis programu „Korfu_sloupce_spoj“

Program „Korfu_sloupce_spoj“ slouží k výpočtu autokorelační funkce hmotné nestejnoměrnosti příze ze spektrogramu přístroje Uster Tester. Výšky sloupců spektrogramu jsou uvažovány jako odmocnina dílčích integrálů spojité spektrální funkce. Program spustíme příkazem Korfu_sloupce_spoj.

Program vyžaduje zadání názvu vstupního souboru dat včetně přípony. Vstupní soubor je textový soubor, v němž jsou zpracovávána data uložena jako sloupcový vektor.

Dále je třeba programu zadat celkovou proměřenou délku příze a počet kroků pro výpočet, který udává, v kolika bodech se bude výpočet provádět.

Data jsou programem zpracována do autokorelační funkce. Výsledky jsou tvořeny dvěma sloupci hodnot. V prvním sloupci jsou zaznamenány délky, ve druhém korelační koeficienty na daných délkách. K matici výsledků je přidán první řádek s hodnotami [0, 1], neboť autokorelační funkce je na délce 0 vždy rovna 1.

Výsledná matice hodnot je automaticky uložena do textového souboru pod názvem *_vys_spoj.txt (* značí původní název souboru bez přípony). Autokorelační funkce je vynesena do grafu.

Součástí programu je skript „VlnDelky“, který je spouštěn automaticky. Program „VlnDelky“ s popisem je v příloze 3.

8.1.1.2.

Program „Korfu_sloupce_spoj“

```
f=input('Zadej jmeno vstupniho souboru vctne pripony:','s'); %pod promennou f
ulozi nami zadany nazev souboru jako string
vyska=(load(f)); %nacteni vysek sloupce do vektoru vyska
M=length(vyska); %celkovy pocet sloupce
g=input('Zadej celkovou promerenou delku prize [m]:'); %pod g ulozi celkovou
promerenou delku prize jako cislo
D=input('Zadej pocet kroku pro vypocet:'); %pod D ulozi pocet kroku jako cislo
a=findstr(f, '.'); %najde ve stringu (ulozenem pod promennou f) tecku
b=strcat(f(1,1:a-1), '_vys_spoj.txt'); %ze stringu f vezme podstring pred
teckou a prida k nemu _vys_spoj.txt

vlnDelky; %nacteni vlnovych delek do vektoru lambda
omega=2*pi./lambda; %prepocet vlnovych delek na frekvence
d=lambda(1,1); %krok

ro=[]; %korelacni koeficient (y-ova osa vysledku)
Lcelk=[]; %delky prize (x-ova osa vysledku)

for i=1:D %cyklus pro vypocet korelacnich koeficientu pro vsechna L
    L=i*d;
    sumah=[];
```

```

sumad=[];

for j=1:(M-1) %cyklus pro vypocet sumy
    k=1+M-j;
    omegak=omega(1,k); %k-ta omega
    omegak1=omega(1,k-1); %k-1 omega
    vyskak=vyska(1,k); %k-ta vyska
    vyskak1=vyska(1,k-1); %k-1 vyska
    kk=(vyskak^2/omegak-(vyskak1^2/omegak1))/(omegak-omegak1);
    qk=-kk*omegak1+(vyskak1^2/omegak1);
    sumahpom=kk*((cos(omegak*L)-cos(omegak1*L))/L+omegak*sin(omegak*L)-
    omegak1*sin(omegak1*L))+qk*(sin(omegak*L)-sin(omegak1*L));%pomocny
    vypocet pro sumu horniho integralu
    sumah=[sumah,sumahpom]; %vektor pro sumu horniho integralu
    sumadpom=kk/2*(omegak^2-omegak1^2)+qk*(omegak-omegak1); %pomocny
    vypocet pro sumu dolniho integralu
    sumad=[sumad,sumadpom]; %vektor pro sumu dolniho integralu
end;

jed=ones(length(sumah),1); %vektor jednicek pro secteni vektoru sumah
sumah=sumah*jed; %suma horniho integralu
sumad=sumad*jed; %suma dolniho integralu
rop=(sumah/L)/sumad; %vypocet korelacniho koeficientu
ro=[ro,rop]; %registrace hodnot vsech korelacnich koeficientu (y-ova osa
vysledku)
Lcelk=[Lcelk,L]; %hodnoty delek (x-ova osa vysledku)
i
end;

ro=[1,ro];
Lcelk=[0,Lcelk];

plot(Lcelk,ro)
xlabel('l [m]'); %popis x-ove osy
ylabel('\rho(l) [ ]'); %popis y-ove osy

vys=[Lcelk',ro']; %zapise hodnoty korelacnich koeficientu do jedne matice o
velikosti (počet kroku+1)x 2 s prislusnymi x-ovými hodnotami

save(b,'vys','-ascii'); %ulozi promennou vys do textoveho souboru
*_vys_spoj.txt (* znaci nazev vstupniho souboru bez pripomy)

```

5.PŘÍLOHA 5

Převod dat ze spektrogramu přístroje Uster Tester

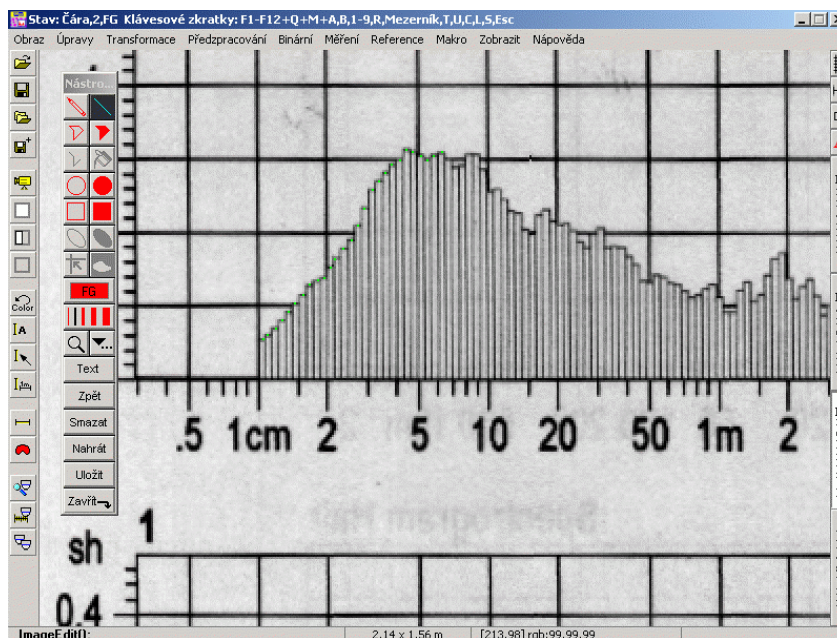
do digitální podoby

Nejběžnějším výstupem hmotné nestejnoměrnosti příze, jaký přístroj Uster Tester poskytuje, je spektrogram tištěný na papír. Pro další zpracování a vyhodnocení výsledků je nutné data převést do digitální podoby. Přijatelnou metodou je naskenování spektrogramu a následné měření výšek jednotlivých sloupců pomocí obrazové analýzy.

Obrázek postačí nasnímat ve stupních šedé s rozlišením 600 dpi, ukládáme jej ve formátu *.bmp (případně *.jpg).

9. Měření výšek sloupců spektrogramu pomocí obrazové analýzy LUCIA

1. Spustíme program LUCIA G a v něm si otevřeme obrázek spektrogramu, který chceme analyzovat.
2. Než začneme měřit, je třeba stanovit, CO chceme měřit. V menu MĚŘENÍ – PŘÍZNAKY OBJEKTŮ vybereme položky CENTRE X a CENTRE Y pomocí tlačítek PŘIDAT a ODSTRANIT. LUCIA tak bude měřit x -ové a y -ové souřadnice vyznačených bodů.
3. V menu ÚPRAVY vybereme položku OTOČIT a následně položku DEFINOVAT NOVOU HORIZONTÁLU. Levým tlačítkem myši klikneme do počátku spektrogramu (bod [0;0]) a přetáhneme přes osu x (se stále stisknutým tlačítkem). Osu x tak pootočíme do vodorovné polohy, pokud došlo skenováním k zešikmení obrázku.
4. V menu MĚŘENÍ zvolíme SEZNAM KALIBRACÍ. V zobrazeném dialogu vybereme měřítko UNCALIBRATED (1 pxl) a potvrdíme tlačítkem OK.
5. Stiskneme klávesu TABULÁTOR (TAB). Objeví se nástrojová lišta. Pro označování bodů vybereme tužku nebo čáru (1. řádek nástrojové lišty) a zvolíme



vhodnou tloušťku čáry (druhou nebo třetí zleva). (obr. P6.1)

Šipkami $\uparrow\downarrow$ přibližujeme (oddalujeme) obraz na pozici kurzoru.

Obr. P6.1: Označování výšek sloupců spektrogramu v programu LUCIA G.

6. Myší označíme nejprve patu prvního sloupce (na ose x spektrogramu). Od y -ové souřadnice tohoto bodu budeme později odečítat y -ové souřadnice všech výšek sloupců spektrogramu, abychom získali skutečné výšky sloupců.
Tlačítko ZPĚT na nástrojové liště umožňuje vrátit se o jeden krok zpět v případě, že jsme bod označili chybně. Vrátit se však lze maximálně o JEDEN krok!
Tlačítko SMAZAT vymaže všechny označené body.
7. Na nástrojové liště stiskneme tlačítko ZAVŘÍT.
8. V menu MĚŘENÍ zvolíme ZMĚŘIT OBJEKTY V POLI.
9. V menu MĚŘENÍ – VÝSLEDKY MĚŘENÍ OBJEKTŮ – EXPORT – SCHRÁNKA. Je dobré si v této fázi VYNULOVAT výsledky, pak zvolíme ZAVŘÍT. Výsledky měření máme uloženy ve schránce.
10. Spustíme program EXCEL. Stiskem CTRL+V (příp. menu ÚPRAVY – VLOŽIT) se na pozici kurzoru vloží obsah schránky, v našem případě souřadnice paty prvního sloupce (obr. P6.2 – pole A1 až B2).
11. Vrátime se do programu LUCIA. Stiskneme TABULÁTOR a na nástrojové liště zvolíme SMAZAT. Pečlivě označíme vrcholy všech sloupců spektrogramu tak, aby se jednotlivé body vzájemně nedotýkaly. Dotýkající se body by program vyhodnotil jako bod jediný a měření by bylo nesprávné. Dále pokračujeme stejným postupem podle bodů 8. – 10. Získáme souřadnice 120 bodů.
12. Naměřená data vložíme do EXCELU, nejlépe pod souřadnice paty prvního sloupce. Po krátkém prozkoumání naměřených hodnot zjistíme, že y -ová souřadnice paty prvního sloupce je větší než y -ové souřadnice výšek sloupců. Je to způsobeno tím, že bod [0;0] pixelů je v levém horním rohu obrazovky.
13. LUCIA data třídí vzestupně podle y -ové souřadnice. My je však potřebujeme za sebou tak, jak jsou ve spektrogramu, tzn. seříděná vzestupně podle x -ové souřadnice. Změřené souřadnice výšek sloupců si označíme do bloku (obr. P6.2 – sloupec A, řádky 5-124) a zestupně seřídíme ikonou A→Z.
14. Všechny y -ové souřadnice výšek sloupců (buňky B5 - B124) odečteme od y -ové souřadnice paty prvního sloupce (buňka B2).

Příklad: $C5= \$B\$2-B5$; $C6= \$B\$2-B6$; ... (obr. P6.2)

The screenshot shows the Microsoft Excel interface. The formula bar at the top displays the formula $E5 = \$B\$2 - B5$. The spreadsheet contains the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	CentreX	CentreY						
2		125	203					
3								
4	CentreX	CentreY						
5		124	184	19				
6		128	182	21				
7		131	179	24				
8		134	175	28				
9		137	171	32				
10		141	167	36				
11		144	163	40				
12		147	158	45				
13		150	156	47				
14		154	155	48				
15		157	150	53				
16		160	146	57				
17		163	141	62				
18		167	137	66				
19		170	130	73				

Získáme výsledné výšky jednotlivých sloupců.

Obr. P6.2: Zpracování dat v EXCELU.

6.PŘÍLOHA 6

Reporty z přístroje Uster Tester 4-SX